ABC Keramik

HEUSCHKEL
HEUSCHKEL
MUCHE

Feinkeramik · Grobkeramik
Feuerfestkeramik
Technische Keramik

012021

HEUSCHKEL · HEUSCHKEL · MUCHE

ABC Keramik

Die vorliegende zweite, wesentlich erweiterte Auflage des Fachlexikons ABC Keramik stellt ein umfassendes Nachschlagewerk zum Gesamtgebiet der Keramik dar. In etwa 3 000 Definitionen werden die Grundbegriffe der traditionellen Keramik bis hin zu den neuesten Entwicklungen in Technologie und Werkstoffsystemen erläutert und mit zahlreichen Fotos, Zeichnungen und tabellarischen Übersichten veranschaulicht. Der interessierte Benutzer findet aber auch tangierende und übergreifende Fachausdrücke aus den Gebieten Kristallographie, Physikalische und Allgemeine Chemie, Elektrotechnik, Elektronik und Umweltschutz.

Die Beziehungen zwischen den physikalischen/chemischen Gesetzmäßigkeiten und den keramischen Prozessen werden einfach und verständlich, aber wissenschaftlich exakt herausgestellt; der Zusammenhang zwischen Rohstoff, Verfahrenstechnik und Erzeugnisparametern ist stets klar zu erkennen.

Durch sein breites Spektrum trägt das ABC Keramik der wachsenden Bedeutung der Keramik in Wirtschaft und Wissenschaft Rechnung und erfüllt den damit verbundenen Wunsch nach Information auf diesem Spezialgebiet. Es wird nicht nur den in der Ausbildung stehenden Studenten, sondern vor allem auch den in der keramischen Praxis tätigen Facharbeitern, Meistern und Ingenieuren bei ihrer täglichen Arbeit eine echte Hilfe sein.

This second essentially expanded edition of the technical dictionary "ABC ceramics" is a comprehensive reference book comprising the whole field of ceramics. Including approximately 3000 definitions the book explains the basic trends of conventional ceramics as well as the latest developments in ceramics engeneering and material systems being illustrated by a number of photographs, drawings and tables. The user conserned will also find technical terms from neighbouring fields of science such as crystallography, physical and general chemistry, electrical engeneering, electronics and environmental protection.

The interrelations between the physical/chemical laws and the ceramic processes are illustrated in an easily understandable but at the same time scientifically exact way. The interdependence between raw material, engineering technique and product parameters can always clearly be seen.

By its wide range the reference book "ABC ceramics" adds fundamentally to the growing importance of ceramics in economy and science and thus meets the demand on information in this special field. It will prove a real helpful dictionary not only for students but also and most of all for skilled specialists working in the field of ceramics as well as for foreman and engeneers in their daily practice.

VEB DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE · LEIPZIG

ISBN 3-342-00432-0

ABC Keramik

HEUSCHKEL
HEUSCHKEL
MUCHE

HEUSCHKEL · HEUSCHKEL · MUCHE

ABC Keramik

175 Jahre
Salzmünder Kaolin

ABC Keramik

Studiendirektor
Dipl.-Ing. Hermann Heuschkel
(Federführung),
Ing. Gisela Heuschkel
und Ing. Klaus Muche

ABC Keramik

2., stark überarbeitete und
erweiterte Auflage

Mit 557 Bildern,
77 Tabellen
und einem Kunstdruckteil

VEB DEUTSCHER VERLAG
FÜR
GRUNDSTOFFINDUSTRIE
LEIPZIG

Heuschkel, Hermann:
ABC Keramik / von *Hermann Heuschkel; Gisela Heuschkel* u. *Klaus Muche.* – 2., stark überarb. Aufl. – Leipzig: Dt. Verl. für Grundstoffind., 1990. – 564 S.: mit 557 Bild., 77 Tab. u. e. Kunstdruckt.
NE: 2. Verf.: *Gisela Heuschkel*; 3. Verf.: *Klaus Muche*

ISBN 3-342-00432-0

2., stark überarbeitete und erweiterte Auflage
© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1990
VLN 152-915/65/90
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig III/18/97
Redaktionsschluß: 10. 1. 1989
LSV 3387
Bestell-Nr. 542 189 6
07800

Vorwort

Seit dem Erscheinen der 1. Auflage des »ABC Keramik«, die seit 1978 vergriffen ist, sind mehr als 10 Jahre vergangen. In diesem Zeitraum haben sich auf dem Gebiet der Keramik bedeutende Entwicklungen vollzogen. Die keramische Forschung ist auf der Basis neuerer Erkenntnisse wesentlich tiefer in die Materie eingedrungen und hat damit die Voraussetzungen geschaffen, neue keramische Werkstoffe zu entwickeln und ihnen eine breitere Einsatzpalette zu erschließen bzw. überhaupt neue Zweige der Keramik zu begründen, wie z. B. Biokeramik, Konstruktionskeramik, Funktionskeramik, Hochtemperaturkeramik u. a. Dabei gelangen neben natürlichen zunehmend synthetische Rohstoffe höchster Reinheit in vollkommen neuen Technologien zum Einsatz.

Aber auch in der traditionellen Keramik werden neue Wege beschritten. Verbesserte Aufbereitungsverfahren erlauben, auch auf Rohstoffe minderer Qualität zurückzugreifen. In der Formgebung vollzieht sich der Übergang von der bildsamen und Gießtechnologie zur Isostatik. Durch neue Brennaggregate und -verfahren wird die Sinterung in kürzerer Zeit und mit geringerem Energieaufwand durchgeführt. In der Dekoration sind außer produktiveren Technologien neue Farbkörpergenerationen entstanden. Die vorliegende Auflage versucht, in Form eines Lexikons dieser Entwicklung gerecht zu werden.

Der Quellennachweis führt 574 Literaturstellen auf; tatsächlich haben wir ein Mehrfaches an Literatur auf Definitionsinhalte durchgesehen. Das Lexikon weist in alphabetischer Reihenfolge 2 460 Begriffe aus, zu denen im jeweiligen Text vielfach noch weitere Wortbeziehungen hergestellt werden, so daß etwa eine Gesamtzahl von 3 000 Begriffen erklärt wird. Die Auswahl der Begriffe beschränkt sich nicht nur auf die unmittelbaren keramischen Ausdrücke, sondern es sind auch tangierende und übergreifende Fachausdrücke aus den Gebieten Kristallographie, Mineralogie, Physikalische und Allgemeine Chemie, Physik, Mikroelektronik und Elektrotechnik mit einbezogen. Bei der Abfassung der Texte haben wir den deduktiven Weg eingeschlagen, d. h., das Besondere wurde vom Allgemeinen abgeleitet. Fremdworte wurden auf ihre lateinisch/griechische Wurzel zurückgeführt, weil wir glauben, die allgemeinste Bedeutung hilft dem Suchenden am besten zum Erschließen eines Begriffes.

Eine lexikalische Darstellung von Fachbegriffen ist naturgemäß kein Lehrbuch, das »ABC Keramik« will aber eine Brücke zu einem vertiefenden Studium schlagen. Anregungen und Vorschläge zur weiteren Vervollkommnung des Lexikons nehmen die Autoren gern entgegen.

Unseren Gutachtern, Herrn Prof. Dr. rer. nat. *A. Petzold* und Herrn Oberassistent Dr.-Ing. *P. Nützenadel*, beide Bergakademie Freiberg, danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und für viele anregende Diskussionen. Wir bedanken uns bei Herrn Ing. *A. Joger*, Fachinformator an der Leitstelle für wissenschaftliche Information des Kombinates VEB Keramische Werke Hermsdorf, der unsere Arbeit durch die Bereitstellung von Literatur unterstützte. Herr *Joger* besorgte auch die Zusammenstellung der Abkürzungen.

Die Herren Dr.-Ing. *O. Kröckel*, Sonneberg, und Dr.-Ing. *E. Krause*, Halle, gaben uns viele Anregungen. Herr Dr. rer. nat. *W. Bürger*, Hermsdorf, überließ uns die elektronenmikroskopischen Aufnahmen, wofür wir ihm an dieser Stelle danken möchten.

Nicht zuletzt gilt unser Dank den Mitarbeitern des VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, für die verständnisvolle Zusammenarbeit und für die gute Ausstattung des Buches.

Hermsdorf (Thüringen) *Die Autoren*

Hinweise für die Benutzer

Reihenfolge im Lexikon Die Stichwörter sind alphabetisch geordnet. Die Umlaute ä, ö, ü wurden entsprechend dem Duden eingeordnet (z. B. Bändertone nach Balsam, Bördeln nach Bord usw.). Besteht ein Stichwort aus Adjektiv und Substantiv, z. B. keramischer Filter, so wird es unter dem Substantiv geführt:
Filter, keramischer

Abkürzungen Das Stichwort wird im Text generell mit dem Anfangsbuchstaben abgekürzt. Im Komposita ist es aus Gründen der besseren Verständlichkeit oft ausgeschrieben (z. B. Aufbereitungsmethoden). Sind für die Kennzeichnung eines Begriffes mehrere Worte nötig, wird im allgemeinen das erste abgekürzt, z. B. Nomenklatursystem der Tone: N. Aus Adjektiv und Substantiv bestehende Begriffe werden wie folgt abgekürzt:
Keramik, technische: t. K.

Schriftarten Die Stichwörter sind fett gedruckt, Synonyme sind in Normaldruck nach dem Stichwort aufgeführt. Die Definition der Begriffe ist kursiv gesetzt, wenn noch weitere Erklärungen – der Bedeutung des Begriffs entsprechend ausführlich – folgen. Zur Hervorhebung bestimmter Begriffe im Text wird auch Kursivschrift verwendet.

Verweise Sind für einen Begriff ein oder mehrere Synonyme vorhanden, so erfolgt die Erklärung unter einer Bezeichnung, die anderen sind mit Verweisen in Form eines Sterns (*) versehen oder durch den Hinweis s., z. B. Whisker – *s.* Haarkristalle.

A

Abbau – *Gewinnung von Rohstoffen aus natürlichen Lagerstätten oder künstlich angelegten Vorräten (Halden).* Ton- oder Kaolinlagerstätten werden vorwiegend im Tagebau abgebaut, an Gewinnungsmaschinen können dabei Tonfräsen, Löffel- und Schaufelradbagger u. a. zum Einsatz kommen; auch Losspülen mit Druckwasser ist üblich. Beim A. unter Tage werden meist Druckluftgeräte eingesetzt. Der A. von Hand ist nur noch bei sehr unregelmäßiger Lagerung, geringer Mächtigkeit und notwendigen Selektierungen anzutreffen.
Bei Lockergesteinen (z. B. Sand) werden Planierraupen, Eimerkettenbagger u. a. herangezogen. Verfestigte Gesteine werden durch Sprengungen gelockert, ehe sie von mechanischen Ladegeräten übernommen werden.

Abbinden – *Abnahme der Verformbarkeit von Stoffen in breiiger Konsistenz und Übergang in den formbeständigen Zustand bei gleichzeitiger Erhärtung.*
Bei den sog. Luftbindern, wie Löschkalk (Calciumhydroxid*), Gips* u. a. laufen dabei Hydratationen*, Kristallisationen* sowie Verdunsten von überflüssigem Wasser ab; diese Vorgänge können durch Veränderung der physikalischen Bedingungen oder Katalysatoren (Mineralsäuren, organische Kolloide* u. a.) beschleunigt oder verlangsamt werden.
Bei hydraulischen Bindern, wie Zementen*, die sowohl an Luft als auch unter Wasser erhärten, treten noch kolloidchemische Reaktionen hinzu.
Das A. von organischen Bindern (Leime, Harze, Lacke, Wachse u. a.) ist komplexer Natur; sie überziehen sich nach dem Erhärten häufig mit einem feuchtigkeitsabweisenden Film.

Abblättern – *Abtrennen von Materieteilchen.* Ursachen sind: bei Ziegelmassen ausblühende Salze (s. Ausblühungen), bei Begußmassen das Nichtübereinstimmen von Trocken- und Brennschwindung mit der der Grundmasse u. a.; bei den Glasuren von Porzellan und Steingut zu fein gemahlene Glasur, Glasur mit zu hohem Gehalt an bildsamen Bestandteilen, zu kleiner Ausdehnungskoeffizient der Glasur gegenüber dem des Scherbens (wodurch zu große Druckspannungen in der Glasur entstehen); bei keramischen Farben zu starke Schichtdicke, nicht genügender Fluß in der Farbe.

Abdecklack – *bei Spritzdekoren verwendeter Lack zum Abdecken (Aussparen) frei zu haltender Partien eines Vollfonds.* Nach Antrocknen des aufgetragenen Lacks und Bildung des Lackfilms wird die Farbe über die gesamte Oberfläche gespritzt. Kurze Zeit später kann der Lack mit der darauffliegenden Farbe abgezogen werden; an diesen Stellen werden scharf begrenzte Glasurstellen sichtbar.

Abdrehen – *materialabtragendes Bearbeitungsverfahren von vorgeformten Hubeln und Formlingen zur Erzielung eines bestimmten Oberflächenreliefs.* Insbesondere erhalten *Isolierkörper** mit Hilfe von *Kopierdrehmaschinen** durch A. ihre angestrebte Geometrie. Daneben werden trockengepreßte Formlinge mit untergriffigen Teilen durch A. nachgearbeitet. Maschinen und Vorrichtungen zum A. gleichen in hohem Maße denen der Metall- und Holzbearbeitung. Besonders zu beachten ist die Abführung des Staubes. Außerdem unterliegen die Maschinenteile einer starken Abriebwirkung; die Bearbeitungswerkzeuge sind aus Hartmetall oder *Schneidkeramik**. Nach dem Zustand der Vorformlinge kennt man:

- A. im Bereich des lederharten Zustandes (16 bis 19 % Feuchtigkeit) von Massevoll- oder Hohlzylindern für Isolierkörper; man spricht hier auch von Kopierdrehen. Die Hubel werden dazu horizontal oder senkrecht in die Kopierdrehmaschinen eingeführt. Die Drehgeschwindigkeiten müssen auf die Größe der abzudrehenden Hubel abgestimmt werden. Um die homogenisierte Struktur* der Hubel* nicht zu beeinträchtigen, müssen Mindestgeschwindigkeiten eingehalten werden, andernfalls können Oberflächenfehler auftreten. Im lederharten Zustand können auch Gewindegänge eingeschnitten werden.
- An weißgetrockneten Hubeln (Feuchtigkeit <1 %) und isostatisch vorgepreßten Formlingen können außer A. auch andere spanabhebende Bearbeitungen, wie Bohren, Fräsen u. a., ausgeführt werden. Wegen der fehlenden Trockenschwindung ist die Maßhaltigkeit der Enderzeugnisse besser.
- Bei 900 bis 1 000 °C vorgeglühte Formlinge können ebenfalls durch A. endgeformt werden. Der besondere Vorteil dieser Formlinge liegt in der

nochmals verbesserten Maßhaltigkeit, wird aber durch erhöhten Werkzeugverschleiß und Kosten für die Verglühung erkauft. [37, 39, 111, 164]

Abgas – *mit staub- oder gasförmigen oder radioaktiven Luftschadstoffen beladene Gase, die in der Industrie, dem Verkehr, der Landwirtschaft oder beim Hausbrand anfallen.*

Die A. der Industrie rühren meist von Verbrennungsvorgängen oder Hochtemperaturreaktionen her und werden vor ihrer Ableitung in die Atmosphäre einer Abgasreinigung unterzogen. [210]

s. Verbrennungsgase

Abgasanalyse – *Ermittlung der Zusammensetzung von Abgasen/Verbrennungsgasen mittels chemischer und/oder physikalischer Methoden.*

1) Die chemischen Methoden nutzen die Absorption oder Adsorption der Komponenten eines Gases in Lösungsmitteln oder oberflächenaktiven Stoffen. Durch Volumenmessung wird der Anteil der betreffenden Gase (CO_2, CO, O_2, SO_2, Cl_2, NH_3) vor und nach der Reaktion bestimmt. Während der gelegentlich noch benutzte Orsat-Apparat* von Hand bedient wird, saugen die automatischen Geräte in Intervallen Meßgas an und zeigen anschließend die Volumen- oder Druckdifferenz an.

2) Die physikalischen Methoden nutzen dagegen meist gasspezifische Eigenschaften, z. B. kann O_2 wegen seines paramagnetischen Verhaltens in entsprechenden Gasanalysatoren erfaßt werden. Für die Bestimmung von CO_2, CO und SO_2 ist wegen des Vorhandenseins von Absorptionsbanden die UR-Absorption möglich. H_2 wird durch Verbrennung (evtl. unter Zumischung von O_2) in Wärmetönungsanalysatoren bestimmt.

3) Die physikalisch-chemischen Methoden werden z. B. in der Konduktometrie genutzt. Eine CO_2-Bestimmung kann durch Einleiten des Gases in eine $Ba(OH)_2$-Lösung und nachfolgende Leitfähigkeitsmessung der Restlösung ausgeführt werden.

Mit Hilfe der Gaschromatografie auf Molekularsieben sind alle Komponenten eines Gases bestimmbar. Um Schäden an den Geräten durch Verstopfung oder kondensierende Säuren zu vermeiden, muß das Meßgas vor der eigentlichen A. gefiltert und getrocknet werden.

Die Bestimmung der Abgasfeuchte erfolgt getrennt; sie wird meist nach der Taupunktmethode vorgenommen.

[2, 22, 66, 234]

Abgas-Katalysatoren, Keramik für (griech.: kata = ganz, lysis = Auflösung) – Die von Verbrennungsmotoren ausgestoßenen Abgase enthalten schädliche Komponenten wie CO, C_nH_m, NO_x u. a. Um die Emission* dieser Komponenten optimal zu mindern, durchspülen die Abgase eine Anordnung, die gemeinhin als A.-K. bezeichnet wird. Ein A.-K. besteht aus einem monolithischen Trägersystem, auf das zur Vergrößerung seiner Oberfläche noch eine Zwischenschicht (sog. washcoat-Schicht) aufgebracht wird. Auf dieser Zwischenschicht befindet sich die eigentlich katalytisch aktive Substanz: Edelmetall (Pt, Pd, Rh) und einige Metalloxide als Promotoren*. Die metallisch aktive Substanz muß in feinstverteilter Form eine Oberfläche $>10^3\,m^2$ aufweisen; dazu wurde folgendes System entwickelt: eine Trägeranordnung in Form von Waben mit sehr dünnen Wänden (0,1 bis 0,3 mm) und einer Zellendichte von 20 bis 80 Stück/cm^2 stellt ein System von $\approx$5 000 Kanälen bereit. Dieses Trägersystem wird einmal sehr kurzzeitig hohen Temperaturschocks (0 bis 1 000 °C) und zum anderen erheblichen mechanischen Erschütterungen ausgesetzt. Diesen Forderungen wird die Cordierit-Keramik* auf Grund ihres kleinen *WAK* und ihrer technologisch gut beherrschbaren Formgebung (Extruder*) und Porosität* von 30 bis 40 % am besten gerecht. Nach einigen Autoren sollen Werkstoffe auf der Basis von Aluminiumtitanat mit feuerfesten Zusätzen von ZrO_2*, Mullit*, Celsian* ebenfalls geeignet sein. Als washcoat-Schicht wird stabilisiertes γ-Al_2O_3 herangezogen (γ-Al_2O_3 hat BET-Oberflächen $>100\,m^2\,g^{-1}$).

A. K. werden unterteilt in:

- Oxydationskatalysatoren; diese beschränken sich auf die Minderung der Anteile von CO und C_nH_m,
- Reduktionskatalysatoren; diese mindern im wesentlichen nur NO_x,
- Doppelbettkatalysatoren; diese stellen eine Kombination von Oxydations- und Reduktionskatalysatoren dar,
- Dreiwegekatalysatoren; diese mindern alle drei Abgaskomponenten; dazu muß über eine λ-Sonde (Festelektrolyt)* laufend die Abgaszusammensetzung kontrolliert werden. Entspre-

chend dem Ausstoß der verschiedenen Komponenten wird über ein Steuersystem die Gemischaufbereitung (mager-fett) verändert, so daß sich Oxydation und Reduktion ergänzen.
[78, 267, 268]
s. Sensorkeramik

Abgasreinigung – *Abtrennung der luftverunreinigenden Stoffe aus Abgasen.*
Abgase der Industrie enthalten neben staubförmigen Komponenten noch dampf- bzw. gasförmige und radioaktive Luftschadstoffe, die aus den Trägergasen abgeschieden oder unschädlich gemacht werden müssen.
Im allg. richtet sich die A. nach bestimmten Konzentrationsbereichen der Schadstoffe; eine ungefähre Zuordnung zeigt die folgende Zusammenstellung:
Schadstoffkonzentration in g m^{-3}
0,01 bis 0,1: Adsorption an nicht regenerierbaren Filtern bzw. biologischen Filtern (Humusmatte), in denen ein biologischer Abbbau durch Bakterien erfolgt.
0,1 bis 1,0: katalytische Nachverbrennung, thermische Nachverbrennung, Chemisorption, biologisches Filtern
1,0 bis 20,0: Adsorption mit Regenerierung, katalytische oder thermische Nachverbrennung
20,0 bis 100,0: Absorption, Kondensation
[210, 65]

Abguß – *Kopieren eines Gegenstandes mit Hilfe eines gießbaren und sich dann erhärtenden Materials* (z. B. Gips). Die vom Original abgenommene Negativform (Hohlform, Modellform, Matrize, Abdruck) wird mit diesem Material ausgefüllt. Man unterscheidet Guß in verlorener Form und in Teilstückformen; letztere sind für einen mehrmaligen A. geeignet.
s. Modell

Abkühlung – *Abschnitt des keramischen Brandes, der zwischen der Sinterung* (d. h. der höchsten Temperatur) und der Ofenausfahrt des Brenngutes liegt.*
Obwohl der Scherbenbildungsprozeß während der Sinterung weitgehend abgeschlossen wird, findet während der A. noch eine Reihe von gefüge- bzw. qualitätsbeeinflussenden Reaktionen statt, deren Nichtbeachtung zu Minderware führen kann:
- Modifikationswechsel kristalliner Phasen; sie sind fast immer mit Volumensprüngen verbunden (z. B. α- → β-Quarz; Protoenstatit → Klinoenstatit), die entweder über die Schmelze bzw. Glasphase oder durch Stabilisierung der Hochtemperaturformen gemindert bzw. verhindert werden müssen.
- Auskristallisationen aus übersättigten Schmelzen; z. B. die Bildung von Nadelmullit aus Al_2O_3-angereicherten Feldspatschmelzen im Porzellanscherben.
- Erstarrung des Glasphasenanteils im Scherben, d. h. Übergang der Schmelzanteile innerhalb des Transformationsintervalls zur Formbeständigkeit. Aus Kenntnis dieser Vorgänge wird bei Werkstoffen, die eine Glasphase enthalten, bis zum Transformationsintervall schnell, danach langsam und gleichmäßig gekühlt. Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen läßt sich eine Mikrorißbildung nicht völlig ausschließen.
- Redox-Vorgänge in Abhängigkeit von der umgebenden Atmosphäre; z. B. der zu verhindernde Wertigkeitswechsel des Mangans bei Ferriten in der Stickstoffatmosphäre, der Farbwechsel von keramischen Farben u. a.
- Kristallisationen von Schmelzen; z. B. bei schmelzgegossenen Steinen verläuft die Kristallisation von außen nach dem Inneren des Steines, was zu Spannungen und Lunkern führt; hier ist sogar ein zusätzliches Tempern erforderlich.

[126, 143, 168]
s. Kühlzone, Kühlrisse

Abplatzungen – *Fehler, die sich durch Abspringen bzw. Wegschleudern kleiner oder kleinster Teilchen von einem Werkstück äußern.* Bei schnellen Aufheizvorgängen bzw. schroffen Abkühlungen entstehen Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Volumenelementen eines Körpers, die zu mechanischen Spannungen führen, und diese lösen dann die A. aus. Bei Großkörpern werden mitunter nach dem Brand A. in Form eines Dreiecks (sog. »Neuhäuser Dreieck«) beobachtet; sie haben ihre Ursache in zu hoher Feuchtigkeitsaufnahme des rohen Formlings während des Tauchglasierens. In der Feinkeramik werden unter A. glasurfreie Stellen verstanden, die durch zu kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Glasur gegenüber dem Scherben entstehen (Glasur steht unter zu hoher Druckspannung). [14, 133, 168, 232]

Abrieb – *Volumenabnahme fester Körper, die reibender Wirkung ausgesetzt sind.*
So zerkleinern Mahlkörper in Mühlen nicht nur das Mahlgut, sie selbst und das Futter der Mühlen verschleißen dabei; ihr Volumen- bzw. Gewichtsverlust wird als A. bezeichnet. Bei empfindlichen Massen muß der ins Mahlgut gelangte A. bei der Versatzberechnung berücksichtigt werden. Zur Verminderung des A. werden Mühlen oft mit Gummi oder ähnlichem ausgekleidet; allgemein weisen kleine Mühlen weniger A. auf als große. [126]

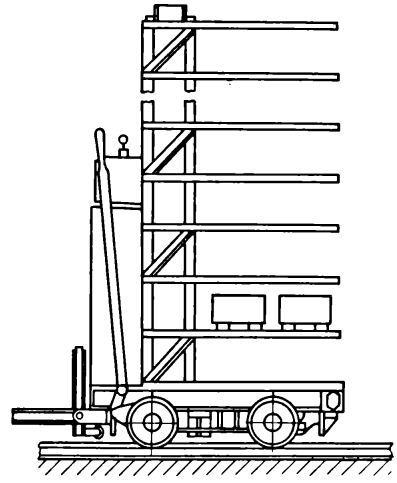
Abriebfestigkeit – *durch Schleif- oder Sandstrahlprüfung bei Raumtemperatur ermittelte Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb.* Die A. bei grobkeramischen Erzeugnissen wird von der Kaltdruckfestigkeit sowie dem Kornaufbau und der Bindung beeinflußt. Bestimmt wird die Volumenabnahme je Prüffläche ($cm^3\ cm^{-2}$). Beim Sandstrahlversuch zeigen feinkörnige Steine bessere Werte als grobkörnige. Allgemein kann man annehmen, daß keramische Werkstoffe mit einer Biegefestigkeit >10 MPa abriebfest, mit <1 MPa nicht mehr abriebfest und daher transportempfindlich sind. [144]

Abschneidevorrichtung – *Anlage zum Trennen von Formlingen von einem kontinuierlich aus der Schneckenpresse austretenden Massestrang*, Stranggeschwindigkeit und Arbeitstakt des Abschneiders sind miteinander gekoppelt. Beim Einzelschnitt wird zwischen Bügel- und Umlaufschnitt (beide bei Voll- und Hohlziegeln, Dränrohren, Kabelabdeckhauben, Naßpreßformlingen) sowie Zwickerschnitt (bei Spaltplatten, Kacheln, Formlingen mit gratfreiem Schnitt) unterschieden. Beim Kolonnenschnitt gibt es den Fasson- und den Harfenschnitt, wobei ersterer auch bei Hourdis, großformatigen Wand- und Deckenziegeln angewendet wird. Im allg. sind die A. heute ein Bestandteil vollmechanisierter Aggregate, bei denen Förder- und Stapelanlagen miteinander verbunden sind. Abschneider gibt es auch an den Vakuumstrangpressen der Feinkeramik zum Zerteilen des Massestranges, als Harfen am Roller und als Vorrichtung, die z. B. auf Plattenböden aufgesetzt wird und bei der das Abschneiden mit einem Drahtbügel erfolgt.

Abschrecken – *Prüfung zur Ermittlung der Temperaturwechselbeständigkeit (TWB).* Durch plötzliches Erwärmen und Abkühlen werden Spannungen erzeugt, die zum Bruch führen können. Feinkeramische Erzeugnisse werden nach TGL 18 877 bzw. VDE 0355 geprüft, wobei das Stück von einer kontinuierlich erhöhten Temperatur stets wieder auf 15 °C abgeschreckt wird, bis die Spanne erreicht ist, bei der es zum Bruch kommt.

Absetzen – *s.* Sedimentation

Absetzwagen – *Förderer, die auf Holz- oder Metallatten ruhendes Gut (Ziegel, Betondachsteine u. a.) in mehreren Etagen übereinander aufnehmen, transportieren und absetzen können.* Es gibt einfache A., die nur einen Stoß von Formlingsträgern aufnehmen, sowie Doppel- und Mehrfachstoß-A (s. Bild). Das Heben und Senken der Etagenarme sowie das Fahren erfolgen durch elektrischen Antrieb.
A. werden zwischen dem Senkrechtförderer, der Be- und Entlademaschine und der Kammertrokkenanlage oder der Bedampfungskammer eingesetzt.



Elektrischer Doppelstoßabsetzwagen

Absorption (lat.: ab = weg, sorbere = schlukken)
1) Aufnahme eines Gases durch Diffusion in kondensierte* (lat.: condensare = verdichten) *Phasen* durch die Phasengrenzfläche hindurch.* Der aufnehmende Stoff heißt Absorptionsmittel oder Absorbens, das aufgenommene Gas Absorbat. Man unterscheidet:
- *physikalische A.*: Das aufgenommene Gas wird selektiv vom Absorptionsmittel aufgenommen.

Ist das Absorptionsmittel eine Flüssigkeit, spricht man auch von Waschflüssigkeit. Die dabei frei werdende Absorptionswärme ist etwas größer als die Kondensationswärme. Im Gegensatz zur Adsorption* spielen bei der A. Oberflächeneffekte keine Rolle.

– *chemische A.* = *Chemisorption*: Sie bedingt chemische Reaktionen und ist irreversibel. Die dabei frei werdende Wärme ist erheblich größer als bei der physikalischen A.

Die A. dient zwei Hauptaufgaben, einmal der Aufnahme eines Gasgemisches und zum anderen der Aufnahme eines Gases in der Flüssigkeit zum Zwecke der Gewinnung chemischer Produkte.

2) *Dämpfung elektromagnetischer Wellen beim Durchgang durch räumlich ausgedehnte Medien.*

Die absorbierte Energie wird aufgrund ohmscher, dielektrischer und magnetischer Verluste in *Joule*sche Wärme umgesetzt. Die Amplitude einer in χ-Richtung sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle nimmt dabei ab gemäß

$$A = A_0 \exp(-\alpha \chi)$$

A_0 Anfangsamplitude

α Dämpfungskonstante, Funktion von Real- und Imaginärteil der Dielektrizitäts*- und Permeabilitätskonstanten* sowie der Leitfähigkeit des durchdrungenen Materials. Bei Licht spricht man im allg. von Extinktion*.

Abstumpfzeit – *Zeitraum nach dem Tauchglasieren bis zum Nachlassen des Feuchteglanzes der Rohglasur auf dem Rohkörper.*

Die A. ist ein technologisch einstellbares Maß (10 bis 30 s) und ist von den Glasur- und Rohscherbeneigenschaften abhängig.

Abziehbild – *mit einem Speziallack versehener Breitdruck.*

Bei Anwendung werden die A. angefeuchtet und auf die zu dekorierende Unterlage gebracht; das Papier wird dann über das seitenverkehrte Bild hinweggezogen. Im nachfolgenden Muffelbrand besorgt die Lackschicht, die u.a. Fluß* enthält, die feste Bindung zur Unterlage. In der Keramik wurden A. durch Schiebebilder* abgelöst. [164]

Aceton (Propanon, Dimethylketon $CH_3CO—CH_3$) – *eine wasserhelle, brennbare Flüssigkeit*; $D = 0{,}790\ g\ cm^{-3}$; Kp = 56 °C. Mit Wasser und vielen organischen Lösungsmitteln mischbar.

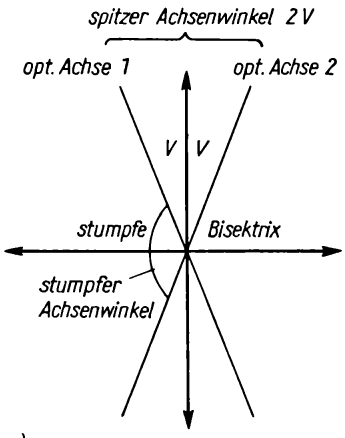
Verwendung: Lösungsmittel für Asphalt, Alkydharze, fette Öle, Kolophonium, Celluloseacetat, Weichmacher, zur Denaturierung von Alkohol.

Achat, kryptokristallin (griech.: kryptein = verbergen) – *Varietät der Chalcedongruppe* (SiO_2), die meist eine verschiedengefärbte, konzentrisch-zonale oder flach-parallele Bänderung (sog. *Liesegang*sche Ringe) aufweist. Die häufigsten Farbzusammenstellungen sind: milchig-weiß mit rot, braun, grau, seltener grün, gelb, blau, schwarz. A. wird in der keramischen Industrie als Achatstift zum Polieren des Poliergoldes verwendet, in Achatmühlen u. a.

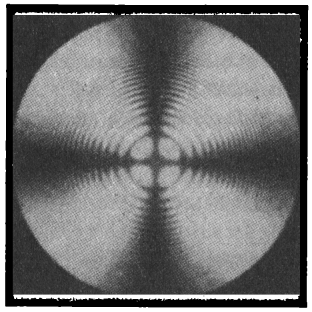
Achse, optische (Achse der Isotropie; griech.: isos = gleich, tropos = Richtung) – *Richtung in optisch doppelbrechenden Kristallen*, in denen die Doppelbrechung verschwindet. Hexagonales, trigonales und tetragonales Kristallsystem haben eine o. A. Orthorhombisches, monoklines und triklines System haben zwei o.A., die sich unter dem sog. optischen Achsenwinkel, der für jede Substanz eine charakteristische Größe darstellt, schneiden. In den Tabellenwerken wird die Öffnung des spitzen Achsenwinkels mit 2V (s. Bilder a bis c, S. 12) bezeichnet, und ihre Messung wird zur Identifizierung der Kristalle herangezogen.

Achsenbilder – *Interferenzbilder anisotroper Medien bei konoskopischer Betrachtungsweise unter dem Mikroskop.* Optisch einachsige Kristalle zeigen beim senkrechten Schnitt zur optischen Achse farbige Ringe, die von einem Kreuz durchschnitten werden, dessen Arme parallel in den Schwingungsrichtungen der Nicols laufen. Beim Drehen des Objekttisches treten keine Veränderungen ein. Bei schiefen Schnitten zur optischen Achse wandern Ringe und Kreuz aus dem Gesichtsfeld. Optisch zweiachsige Kristalle zeigen im allg. Kurven in Form einer liegenden Acht *(Cassinische Kurven)*. Beim Drehen des Objekttisches löst sich aus der Figur ein ungleiches Kreuz, das sich bei 45° zu zwei Hyperbelästen öffnet; diese schließen sich nach weiteren 45° wieder zum Kreuz, jedoch ist dieses Kreuz gegenüber der ersten Stellung um 90° gedreht.

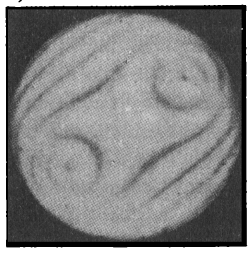
Achsenkreuz, kristallographisches – *Koordinatensystem, auf das man die geometrischen Konstanten der Kristalle bezieht.* Die Achsen sind gedachte Linien und werden so in die Kristalle hineingelegt, daß sie parallel zu vorhandenen oder möglichen Kristallkanten verlaufen (s. Bild). Die drei Achsen werden mit den Buchstaben *a*, *b* und



a)



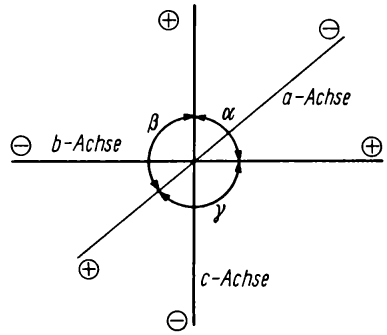
b)



c)

a) Optischer Achsenwinkel
b) Achsenbild eines optisch einachsigen Kristalls
c) Achsenbild eines optisch zweiachsigen Kristalls – spitze Bisektrix parallel zur Mikroskopachse

c belegt, wobei die *a*-Achse auch Längsachse, die *b*-Achse Querachse und die *c*-Achse Vertikalachse genannt werden. Zwischen den Achsen liegen die Winkel α, β und γ. Das vordere Ende der *a*-Achse, das rechte der *b*-Achse und das obere



Kristallographisches Achsenkreuz

der *c*-Achse sind mit positiven Vorzeichen ausgezeichnet, die anderen Enden mit negativen. Die Achsen können unter sich gleich- und nichtgleichwertig sein; jedes Kristallsystem besitzt sein eigenes Achsenkreuz.

Adapter (lat.: adaptare = anpassen) – *elektrische Anpassungsschaltung bzw. auch Steckverbinder zur Kopplung von Geräten oder Baugruppen*, die nicht von vornherein paßfähig gestaltet wurden.

Adobe – *in tropischen Ländern vorkommende Lehmart zur Herstellung luftgetrockneter Ziegel.* Der Plural von A. wird gleichzeitig als Bezeichnung für die aus dieser mit Stroh u. ä. gemagerten Lehmart hergestellten Ziegel verwendet.

A. sind seit alter Zeit als Baumaterial im Vorderen Orient, in Afrika, in den altmittelamerikanischen Kulturen u. a. verbreitet.

Adsorption (lat.: ad = hinzu, sorbere = schlukken) – *Anlagerung eines Stoffes an der Phasengrenzfläche eines anderen Stoffes.* Der Stoff, an dessen Oberfläche adsorbiert wird, heißt Adsorptionsmittel oder Adsorbens, der adsorbierte Stoff Adsorbat, Sorbend oder Adsorptiv.

Im allgemeinen bezieht sich A. auf die selektive Aufnahme von Gasen, Dämpfen oder Flüssigkeiten und deren Bindung auf der Oberfläche fester Körper. Es ist dabei zu unterscheiden:

- *physikalische oder umkehrbare A.*: Hier werden nur die *van-der-Waals*schen Kräfte wirksam. Mit Erhöhung der Temperatur verlassen die adsorbierten Moleküle wieder die Oberfläche (Desorption). Die Aktivierungsenergie der Desorption ist dabei gleich der Adsorptionswärme (Größenordnung ≈ 40 kJ mol^{-1}). Zwischen der adsorbierten Menge und den thermischen Zustandsgrößen Temperatur T und Druck p bestehen eindeutige Zusammenhänge. So charakteri-

siert die Adsorptionsisotherme die Abhängigkeit der adsorbierten Menge V vom Druck des Gases über dem Adsorbat bei konstanter Temperatur, $V_T = f(p)$. Die Adsorptionsisobare gibt die Abhängigkeit der adsorbierten Menge von der Temperatur bei konstantem Druck wieder, $V_p = f(T)$.

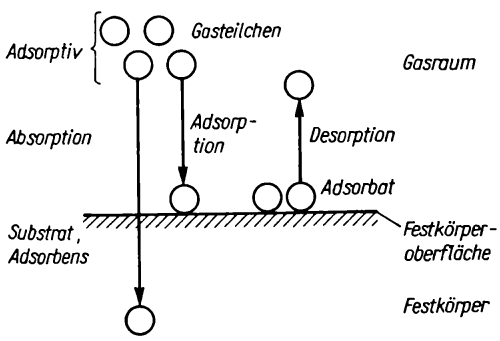
Die Adsorptionsisostere gibt den Druck an, der zur Aufrechterhaltung einer konstanten adsorbierten Menge bei unterschiedlichen Temperaturen nötig ist, $p_V = f(T)$. Sie kann als Dampfdruckkurve der Adsorptionsschicht angesehen werden.

- *chemische oder nichtumkehrbare A.*: Hier treten echte chemische Bindungen (z. B. homöopolare Austauschkräfte) auf. Die Adsorptionswärme der chemischen A. (Chemisorption) ist vergleichbar mit der Reaktionswärme chemischer Reaktionen und liegt in der Größenordnung 40 bis 400 kJ mol^{-1}.

  Die maximal adsorbierbare Menge kann nur eine Monoschicht aufbauen, weil damit sämtliche freie Valenzen der Oberflächenatome abgesättigt sind.

Nach *Langmuir* liegt auch bei der physikalischen A. im allg. nur eine Monoschicht vor.

Das folgende Bild zeigt den Unterschied zwischen Ab- und Adsorption.



Zur Definition der Begriffe Ab- und Adsorption

Adsorptionsmittel (Adsorbens) – *Stoffe, die durch eine große Oberfläche, hohes Porenvolumen und -struktur ausgezeichnet sind und die die Fähigkeit besitzen, selektiv Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten zu binden.* A. liegen meist in pulvriger oder granulierter Form vor. Gefordert werden: ein großes Adsorptionsvermögen bei hoher Selektivität und leichter Desorbierbarkeit, Beständigkeit gegenüber chemischen Einflüssen, Temperaturwechsel und mechanischer Beanspruchung. Die bekanntesten A. sind: Kieselgel*, Zeolithe*, γ-Al_2O_3 (*s.* Aluminiumoxide), Aktivkohle und Metall-Aluminiumsilicate der Bruttoformel $Me_{x/n} \cdot (AlO_2)_x \times (SiO_2)_4 \cdot mH_2O$ mit sehr regelmäßiger Porenstruktur aus Tetraedern von SiO_4^-/AlO_4^-, deren negative Ladungen durch Na- und Ca-Kationen kompensiert sind. Die Porengrößen liegen in der Größenordnung der Molekülabmessungen, so daß sie als sog. Molsiebe eingesetzt werden können.

Aerosol (griech.: aer = Luft; lat.: solutio = Lösung) – *kolloides System, bei dem in einem gasförmigen Dispersionsmittel (meist Luft) feste oder flüssige Stoffe sehr fein verteilt enthalten sind.* Die Teilchengröße bewegt sich von 1 bis 10^{-3} µm. Die Sinkgeschwindigkeit ist so gering, daß praktisch keine Sedimentation eintritt. [42]

s. Kolloide

Agar-Agar (Gelose) – *gelatineartiger Pflanzenschleim*, der aus verschiedenen Rotalgenarten des Indischen und Stillen Ozeans gewonnen wird. Es kommt in schwach gelblichen Platten oder kleinen Strängen in den Handel. Im kalten Wasser quillt es stark auf, in großer Verdünnung (1:200) bildet es nach Erwärmung eine klare Lösung. A. ist ein Schutzkolloid; in der Keramik dient es als Binder*. [126]

Agglomerat – *zu unregelmäßigen, in Form und Größe sehr unterschiedlichen Stücken zusammengeballtes Feingut.* Das Zusammenballen wird durch Grenzflächenkräfte hervorgerufen. Agglomeratverfahren sind: Sintern, Granulieren, Sprühtrocknung u. a.

Agglomeration (lat.: glomerare = zusammenballen) – *1) Zusammenballen feinstzerkleinerter Teilchen aufgrund ihrer hohen Oberflächenenergie, 2) Prozesse, die eine Kornvergröberung bzw. Stückigmachen feiner Teilchen zu einer mehr oder weniger einheitlichen Korngröße bewirken.* Im Agglomerat sind die Ausgangsteilchen noch mehr oder weniger identifizierbar. Agglomerate zeichnen sich durch geringere Staubbelästigung bzw. -verluste bei Transport und Weiterverarbeitung, verbessertes Schüttverhalten, günstigere Fließeigenschaften und besseres Durchströmungsverhalten aus. Zur Beurteilung der Agglomerate spielen neben der Korngrößen- und Kornformverteilung noch ihre Festigkeit und ihre Porosität eine wichtige Rolle.

In der Aufbereitungstechnik lassen sich folgende Agglomerationsprozesse abgrenzen:
- Pelletieren* (Aufbauagglomeration),
- Brikettieren* (Preßagglomeration),
- Sintern*.

[15]

Aggloporit – *Handelsbezeichnung für durch Sinterung von Industrieabfallstoffen und/oder Tonen erzeugtes Granulat.*

Je nach Ausgangsstoffen spricht man auch von Aschensinter, Tonsinter u. a.; Verwendung als Zuschlagstoffe für Leichtbetone* u. ä.

Rohdichte: etwa 1,10 bis 1,50 kg dm^{-3}

Schüttdichte: etwa 0,40 bis 0,80 kg dm^{-3}

Aggregat (lat.: grex, gregis = Haufe, Schwarm) – *durch Zusammenschluß bzw. durch mehr oder weniger inniges Zusammenwachsen einer großen Anzahl ursprünglich getrennter Teile entstandene Masse* (z. B. Gesteine und Erze).

Die bei Calcinationen* oder auch Sinterungen* zusammengefritteten Primärteilchen zu A. werden oft als Sekundärkorn bezeichnet, wenn man eine nachfolgende Zerkleinerung im Rahmen der Aufbereitung* vorsieht.

Aggregation – *Anhäufung von Atomen, Ionen, Molekülen und Kolloidteilchen bei beliebigen, den Verband zusammenhaltenden Kräften.*

Aggregationstemperatur (lat.: aggregare = sich beigesellen) – *Temperaturgebiet, in dem sich in einer Schmelze vorhandene Ionen, Moleküle und Radikale zu größeren (übermolekularen) Struktureinheiten zusammenschließen.*

Akermanit ($MgCa_2[Si_2O_7]$) – *einer der Hauptbestandteile der Hochofenschlacke.*

Kristallographie: tetragonal

Physikalische Eigenschaften: $H = 5{,}5$; $D = 3{,}18$ g cm^{-3}; *o. D.*: $n_\varepsilon = 1{,}637$, $n_\omega = 1{,}632$, $\Delta n = +0{,}005$; $T_S = 1\,458$ °C

Aktivator (Promotor, Verstärker; lat.: pro = vorwärts, movere = bewegen) – *Störstellen, die einem Katalysator zugefügt werden, um dessen Aktivität bzw. Selektivität zu erhöhen oder seine katalytische Wirksamkeit zu stabilisieren.*

Die Bezeichnung A. entstammt der alten phänomenologischen Lumineszenztheorie und macht keine Aussagen über die Natur der betreffenden Störstellen, d. h., es kann sich sowohl um kristallfremde Atome, die in das Gitter eingebaut werden, als auch um Eigenfehlstellen des Kristalls handeln. Obwohl der A. selbst kaum katalytische Aktivität besitzt, wird entsprechend seiner Wirkung von struktureller oder synenergetischer Verstärkung gesprochen. Die strukturelle Verstärkung basiert auf aktiven Zentren und hat keinen Einfluß auf die Aktivierungsenergie, dagegen hat die synenergetische Verstärkung, bei der infolge Feldverzerrungen an der Grenze zwischen Katalysatorphase Zentren neuartiger katalytischer Wirksamkeit entstehen, einen Einfluß auf die Aktivierungsenergie der katalysierten Reaktion.

Es sind auch A. bekannt, die selektiv unerwünschte Nebenreaktionen inhibieren. [65, 238, 129, 237]

s. Katalysatorkeramik

Aktivierung, mechanische – *s.* Tribochemie

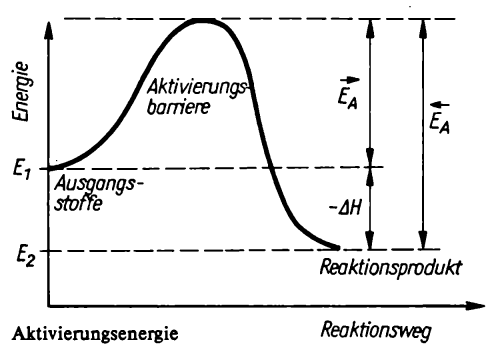
Aktivierungsenergie – *Mehrbetrag an Energie, der über den durchschnittlichen Energiegehalt der Atome/Moleküle hinaus notwendig ist, um eine chemische Reaktion auszulösen* (s. Bild).

Ein direkter Übergang von E_1 nach E_2 ist nicht möglich, da zwischen beiden eine Energiebarriere liegt. Sie kann nur von Molekülen überwunden werden, die über die notwendige A. verfügen; die Reaktionsenthalpie beträgt dann:

$$-\Delta H = \overleftarrow{E}_A - \overrightarrow{E}_A.$$

Die A. kann durch Wärmezufuhr (z. B. Sinterung*), durch Einwirkung von Strahlungen oder Energieaustausch beim Zusammenstoß der Reaktionspartner aufgebracht werden. Größenordnungsmäßig kann E_A bei der Sinterung von Oxiden mit 500 kJ mol^{-1} angenommen werden. [64, 99, 150]

s. Leitfähigkeit, elektrische



Aktivierungsenergie

E_1 Energiezustand der Ausgangsstoffe

E_2 Energiezustand der Reaktionsprodukte

ΔH Energiedifferenz

Aktivität, chemische – bei chemischen oder elektronischen Reaktionen in Elektrolytlösungen bewirken die interionaren Kräfte oft, daß nicht alle vorhandenen Ionen am Reaktionsgeschehen teilnehmen, die Lösung erscheint dadurch geringer konzentriert, als es der Fall ist. Der Begriff A. wird als wirksame Konzentration von der wahren Konzentration, die aus den Ergebnissen der quantitativen Analyse berechnet werden kann, unterschieden. Es gilt dann:

$a = c\,fa$

a Aktivität oder wirksame Konzentration
c wahre Konzentration
fa Aktivitätskoeffizient.

Aktivität, katalytische (lat.: agere, actum = handeln; griech.: kato = von...herab, lyein, lytos = lösen) – *Bezeichnung für spezifische oder selektive Wirkungen von kleinen Zentren auf Oberflächen von Pulvern.* Als Maß der k. A. gilt in vielen Fällen das Sorptionsvermögen oder die damit in Zusammenhang stehende Adsorptions- und Benetzungswärme. Diese sog. Aktiven werden bedingt durch Korngröße, spezifische Oberfläche und Fehlordnungen, d. h. durch Bildungsmechanismus, Reinheit und Vorgeschichte der Pulver. Der Wirkungsmechanismus dieser aktiven Zentren kann über Sauerstoffbrücken, hydrophile Gitterstellen, Oberflächendefektstrukturen u.a. ablaufen, kann durch Neutronen- oder auch γ-Bestrahlung gesteigert werden und hängt vom Phasenzustand des Pulvers ab. [124, 236]

Aktivlotverfahren – *ein Verfahren zur Herstellung von Keramik-Metall-Verbunden ohne vorherige Metallisierung des Scherbens.* Das A. nutzt die Eigenschaft einiger Metalle (z. B. Ti, Zr), Oxidkeramiken bei hohen Temperaturen zu benetzen und mit ihnen zu reagieren. In diesem Sinne wirken diese Metalle als Netz- und Reaktionsmittel, andererseits sind sie befähigt, mit Ag, Ni und anderen Übergangsmetallen Schmelzlösungen zu bilden, d.h., werden sie Loten (z.B. 90 % Ag, 10 % Zr) zugesetzt, so ist es möglich, einen Keramik-Metallverbund in einem Aufheizzyklus herzustellen. Erforderlich ist ein Arbeiten unter völligem O_2-Ausschluß zur Vermeidung von Ti- bzw. Zr-Oxydation. Aus diesem Grunde muß in völlig trockener Schutzgasatmosphäre (H_2, Ar, He) oder im Vakuum (<0,013 Pa) eingebrannt werden. [123, 175]

Akzessorien (lat.: accessio = Anhängsel) – *Nebengemengeteile,* die in geringen Mengen (<1 %) in einem abbauwürdigen Rohstoff/Gestein enthalten sind, z. B. Apatit, Schwermineralien im Rohkaolin, Magnetit im Granit u. a.

Albit (Natronfeldspat $Na[AlSi_3O_8]$; lat.: albus = weiß) – *Natriumaluminium (1:1:6)-Silicat.*
Kristallographie: triklin
Physikalische Eigenschaften: $H = 6$; $D = 2{,}60$ bis $2{,}62\ g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}525$, $n_\beta = 1{,}529$, $n_\gamma = 1{,}536$, $\Delta n = +0{,}011$; $2V = 77$ bis $83°$

Alginate – *Salze der in Seetang und Meeresalgen enthaltenen Alginsäure,* die in ihrem chemischen Aufbau der Cellulose nahe stehen. In der Keramik werden die wasserlöslichen Natrium-, Calcium-, Magnesium- und Ammonium-A. als Emulgatoren und Binder* verwendet.

Alkalien – *im engeren Sinne Verbindungen der Alkalimetalle Lithium, Natrium und Kalium mit der Hydroxylgruppe -OH*; im weiteren Sinne zählen zu den A. auch die Oxide und Carbonate der Alkalimetalle. In den Versatz werden die A. in wasserunlöslicher Form als Feldspat oder in wasserlöslicher Form als calcinierte Soda, Salpeter oder Borax eingeführt. Letztere werden vielfach mit Sand und Ton zu einer wasserunlöslichen Fritte gesintert. A. stellen für Quarz das stärkste Flußmittel dar; ein Zusatz von 0,5 % Na_2O zu Quarz bewirkt bei 800 °C eine fast vollständige Überführung in Tridymit.

Alkalifeldspat – *zusammenfassender Begriff für Kali- und Natronfeldspat.* Bei höheren Temperaturen mischen sich beide, beim Abkühlen entmischen sie sich jedoch zu feinen Lamellen. Lamellen von Natronfeldspat im Kalifeldspat werden als Perthit bezeichnet, im umgekehrten Fall spricht man von Antiperthit.
s. Feldspat

Alkaliglasur – *bleiborfreie Glasuren mit hohem Gehalt an SiO_2 und Al_2O_3, die aus Alkalifritten oder festen Wassergläsern hergestellt und für niedrigen Glattbrand verwendet werden.* Ungefrittete Wasserglasglasuren werden in der Kunstkeramik zu kupferblauen und manganvioletten Haarrißglasuren verwendet. A. sind spröde und neigen wegen des großen Ausdehnungskoeffizienten zur Haarrißbildung.

Allevardit – *ein Tonmineral,* das sich aus Silicatdoppelschichten aufbaut, die vorwiegend durch

Na-Ionen zusammengehalten werden; innerkristalline Quellung zwischen den Doppelschichten ist gegeben. Nach *U. Hofmann* kommt ihm die Formel

$$Na_{1,0}K_{0,3}Ca_{0,1}\{(Al_{4,0}Fe_{0,05})(OH)_4[Al_{1,0}Si_7O_{20}]\}_2$$

zu.

allitisch (lat.: alumen = Alaun; griech.: lithus = Stein) – in den halbtrockenen (semiariden) Klimazonen vorkommende Verwitterung von Alumosilicaten, die zur Bildung von Tonerdehydraten, wie Diaspor, Böhmit und Hydrargillit, führt (nicht zur Kaolinisierung).

allochthon (griech.: allos = anders, chton = Erde) – Art der Lagerstätten von Rohstoffen, die sich nicht mehr am Entstehungsort, sondern infolge eines Transports auf sekundärer Lagerstätte befinden.

Allophan (griech.: allos = verschieden, fremd, phainein = scheinen) – *röntgenamorphes Aluminiumsilicatgel mit einer ungefähren Zusammensetzung von 25 bis 35% Al_2O_3, 25 bis 35% SiO_2 und 25 bis 40% H_2O*; außerdem enthält es noch zahlreiche andere Elemente bzw. Verbindungen: Alkalien, Erdalkalien, Eisen, P_2O_5, CuO u. a.

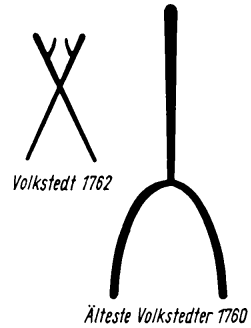
Physikalische Eigenschaften: Glasglanz; $n = 1{,}47$ bis 1,51; $H = 3$; $D = 1{,}85$ bis 1,89 g cm^{-3}

A. wird von HCl zersetzt, ist eine Komponente mancher Tone. [8]

Allotropie (griech.: allos = verschieden, tropos = Art und Weise) – *Erscheinung, daß ein Element in verschiedenen Zustandsformen auftritt*; man spricht auch von allotropen Modifikationen, z. B. Graphit-Diamant.

Altern, Alterung – *Änderung der spezifischen Stoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Zeit.* Diese Erscheinung wird besonders bei Mehrstoffsystemen, die sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, beobachtet. Das Streben des Systems nach einem stabilen Zustand kann sich in Änderung des Ordnungszustandes, in chemischen Reaktionen, Entmischungen (z. B. beim Schlicker), Kristallisation aus dem amorphen Zustand, Modifikationsänderungen u. ä. äußern. Der Verlauf erfolgt nach einem exponentiellen Gesetz, kann aber durch Wärmebehandlung, mechanische Behandlung und Druckänderung beschleunigt werden. *Beispiel:* Desakkomodation als zeitliche Inkonstanz der Anfangspermeabilität der Ferrite; als Ursache werden Diffusionsvorgänge im Spinellgitter und thermische Fluktuationen angesehen.

Älteste Volkstedter Porzellanmanufaktur – von *Macheleid* 1760 gegründete Manufaktur, die sich in den ersten zwei Jahren in Sitzendorf befand. Im letzten Viertel des 18. Jh. begann die Blütezeit. Es wurden Kaffee-, Tee-, Schokoladengeschirr, Aufsätze, Vasen, große, farbig dekorierte Teller, Figuren vielfältigster Art u. a. gefertigt. Neben figürlichen Dekors, Miniaturporträts, Blumen, Früchten, Landschaften, Insekten gab es die Purpur-, Eisenrot- und Blaumalerei; eine Spezialität war die Bemalung von Täfelchen und Platten nach Kupferstichen von *Chodowiecki.* Gegen Ende des 19. Jh. wurde mit der Herstellung der weltbekannten Figuren mit echtem Spitzenbelag begonnen. Weiter entstanden historische Figuren und Gruppen sowie Tierplastiken. Der heutige VEB Älteste Porzellanmanufaktur Rudolstadt-Volkstedt, der zum VEB Zierporzellanwerke Lichte gehört, pflegt eine gute Tradition und stellt neben geschmackvollen Zierporzellanen unserer Zeit hauptsächlich auch Spitzenfiguren und historische Gruppen her (s. Fabrikmarke).



Fabrikmarke der Ältesten Volkstedter Porzellanmanufaktur

Aluminate – *Salze der Aluminiumsäure.* Wird das amphotere $Al(OH)_3$ in einer Base gelöst, so bildet sich das wenig stabile Alumination: $Al(OH)_3 + OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_4^-$. Aluminium spielt im Alumination die Rolle eines Säurebildners: z. B. $K[Al(OH)_4]$. Unter Austritt von Wasser kondensiert es zu höhermolekularen Oxoverbindungen, bis es schließlich in Verbindungen der Art $Me^{I}AlO_2$ bzw. $Me^{II}Al_2O_4$ übergeht. Verbindungen dieses Typs finden sich in der Natur häufig als sog. *Spinelle**.

Aluminiumhydroxide – *Verbindungen des Aluminiums mit der Hydroxylgruppe,* die als weißer Niederschlag beim Fällen aus Aluminatlösungen –

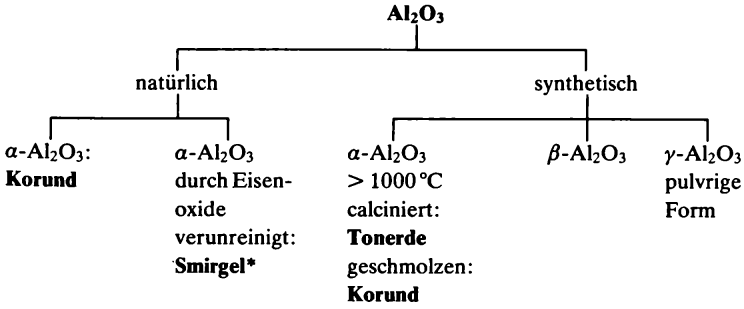
z. B. durch Einleiten von CO_2 – entstehen und beim Erhitzen in Al_2O_3 übergehen. In der Natur bilden A. die wichtigsten Gemengeteile des Bauxits (s. Tabelle).

Name	Kristallsystem	Dichte in g cm^{-3}	Optische Daten	Bemerkungen
Diaspor α-AlOOH	orthorhombisch	3,4	$n_\alpha = 1{,}702$ $n_\beta = 1{,}722$ $n_\gamma = 1{,}750$ $\Delta n = +0{,}048$ $2V = 84°$	Härte 6,5
Böhmit β-AlOOH	orthorhombisch	3,05	$n_\alpha = 1{,}638...1{,}646$ $n_\beta = 1{,}645$ $n_\gamma = 1{,}651...1{,}661$ $\Delta n = -0{,}013, +0{,}015$ $2V = 80°$	Härte 2,5 bis 3
Hydrargillit γ-Al(OH)$_3$ (Gibbsit)	monoklin (pseudohexagonal	2,43	$n_\alpha = 1{,}554$ $n_\beta = 1{,}554$ $n_\gamma = 1{,}576...1{,}595$ Δn = etwa +0,022 $2V = 0...20°$	Härte 2,5 bis 3,5
Alumogel AlOOH · nH$_2$O	amorph	2,55		

Aluminiumnitrid (AlN) – *nichtoxidischer Hochtemperaturwerkstoff*; er zeichnet sich aus durch hohe Beständigkeit gegen Korrosionen, Durchlässigkeit von IR-Strahlung und eignet sich für Substrate für die Hochleistungselektronik.
A. kann nach verschiedenen Verfahren gewonnen werden. Am häufigsten wird hochreines NH_4AlF_6 zwischen 800 bis 1000 °C zersetzt; andere Möglichkeiten sind z. B. $AlCl_3 + NH_3 \rightarrow AlN + 3HCl$, auch Nitrieren von Tonen und Kaolin ist bekannt, letztere liefern aber nur mäßige Reinheiten. Das auf eine spezifische Oberfläche von $\approx 6\ m^2\ g^{-1}$ mit Stahl- oder Korundkugeln gemahlene Pulver wird verpreßt (Schlickergießen ist wegen Hydrophobie nicht möglich) und reaktionsgesintert.
Kristallographie: hexagonal
Physikalische Eigenschaften: $E = 310$ kN mm^{-2}; H (nach *Mohs*) = 7 bis 8; $D = 3{,}20$ g cm^{-3}; Biegefestigkeit: 280 bis 320 N mm^{-2}; Zersetzungstemperatur: 2300 °C; λ (bei 20 °C) = 140 bis 170 W(m K)$^{-1}$; ϱ (bei 20 °C) = 10^{11} Ωm; α (bei 20 bis 100 °C) = $2{,}7 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; $\varepsilon \approx 10$
[224]

Aluminiumoxid (Al_2O_3)
1) Übersicht (s. u.)
2) Ausgewählte Eigenschaften (s. S. 18)
3) α-Al_2O_3 = Korund: einzige thermodynamisch stabile Modifikation
Chemische Zusammensetzung: 53,04 % Al, als Mineral durch geringe Mengen an Cr – rot, an Fe/Ti – blau gefärbt.
Kristallographie: Die Struktur wird durch Sauerstoffebenen ⊥ zur c-Achse in hexagonal dichtester Kugelpackung* aufgebaut, in deren Zwickeln die kleinen Al-Ionen eingelagert sind (s. Bild, S. 18).
Physikalische Eigenschaften: selten farblos, meist grau, blau (Saphir), rot (Rubin); Glasglanz; ohne deutliche Spaltbarkeit, muschlig bis splittriger Bruch; in Säuren nicht löslich
Bei dem natürlichen Korund kennt man noch den sog. Edlen Korund; hierbei handelt es sich um farbig durchsichtige Einkristalle, die als Edelsteinqualitäten Bedeutung erlangt haben. Jedoch werden in neuerer Zeit derartige Edelsteinqualitäten auch synthetisch gewonnen (*Verneuil*-Verfahren*), die dem Edlen Korund in keiner Weise nachstehen.

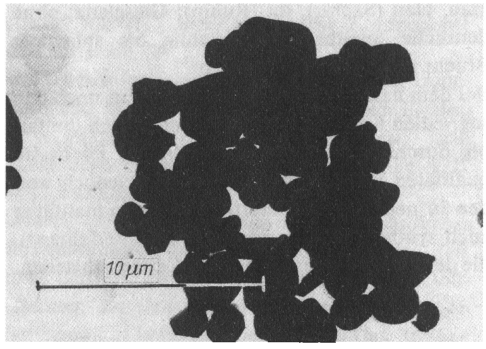
Aluminiumoxid (Al_2O_3)
1) Übersicht



Ausgewählte Eigenschaften von Al_2O_3

Form	Kristallsystem	Dichte in g cm^{-3}	Optische Daten	Bemerkungen
α-Al_2O_3 Korund synth. u. natürl.	trigonal	3,99	$n_\omega = 1{,}767$ bis 1,772 $n_\varepsilon = 1{,}760$ bis 1,763 $\Delta n = -0{,}008$	Härte 9 Schmelztemperatur 2 050 °C
γ-Al_2O_3	kubisch bzw. tetragonal	3,2 bis 3,63	$n = 1{,}73(5)$	Die Eigenschaften sind stark abhängig von der Bildungstemperatur (unvollständiger Spinell)
β-Al_2O_3	hexagonal	3,24 bis 3,31	$n_\omega = 1{,}665$ bis 1,680 $n_\varepsilon = 1{,}650$ $\Delta n = -0{,}030$ bis 0,035	eigentliche Formel $Na_2Al_{24}O_{37}$ bzw. $CaAl_{12}O_{19}$

Es sind mindestens noch sechs instabile Formen bekannt.



Elektronenmikroskopische Aufnahme von α-Al_2O_3 (Durchstrahlung 80 kV)

4) Synthetisches Al_2O_3: Da abbauwürdige Vorkommen hoher Reinheit für den Großverbrauch nicht zur Verfügung stehen, muß auf synthetische Gewinnung zurückgegriffen werden. Als aluminiumhaltige Rohstoffe kommen in Betracht: Bauxit* und in neuerer Zeit Ton*. Großtechnisch werden die unter *a*), *b*) und *c*) genannten Verfahren herangezogen, während die Verfahren unter *d*) auf Sonderanwendungen beschränkt bleiben.

a) alkalisch-hydrothermales Bayer-Verfahren für Bauxit – Temperaturbereich 180 bis 250 °C bei folgenden Reaktionen:

$$NaOH + Al(OH)_3 \rightarrow NaAlO_2 + 2H_2O$$

$$2Al(OH)_3 \xrightarrow{>1\,100\,°C} \alpha\text{-}Al_2O_3 + 3H_2O \text{ (Calcination)}$$

(Gegenwärtig wichtigstes Verfahren!)

b) pyrogenes Aufschlußverfahren sowohl für Bauxit als auch für Tone – Temperaturen >1 300 °C

Entsprechend dem Aufschluß werden Alkali- oder Erdalkalialuminate gebildet.

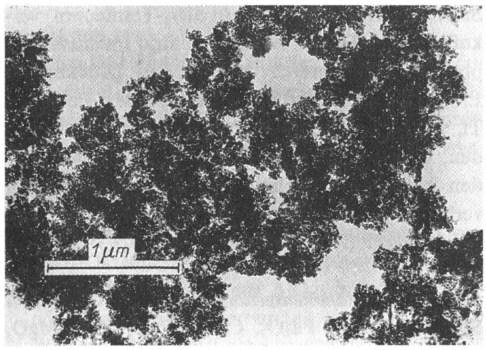
c) saurer Aufschluß – Lösen von Aluminium in Form von Aluminiumsalzen durch verschiedene anorganische Säuren aus Ton

d) thermische Spaltung von organischen Al-Verbindungen – Gewinnung von hochreinem Al_2O_3

Bei der Gewinnung von synthetischem Al_2O_3 tritt eine Anzahl von Al-Hydroxiden* und Al-Oxiden auf, die bei der Calcination >1 100 °C sämtlich in die stabile α-Form, die sog. Tonerde, übergehen.

Keramische Bedeutung haben:

- α-Al_2O_3 (Tonerde)
  Die Tonerde unterscheidet sich in ihren physikalischen Eigenschaften nicht vom natürlichen Korund, ihre spezifischen technologischen Parameter hängen jedoch sehr stark von den Herstellungs- und Calcinationsbedingungen ab. Ihre mittlere *BET*-Oberfläche liegt bei 0,5 bis 2 m^2 g^{-1} und wird durch einen Mahlprozeß auf etwa 2 bis 6 m^2 g^{-1} erweitert. (Oft rühren die gemessenen Werte von Aggregationen* – sog. Sekundärkörnern – durch die Calcination her, die im Mahlprozeß lediglich in die Primärkörner zerteilt werden.)
  Tonerde hat ein breites Anwendungsspektrum: Zusatz für hochfeste Porzellane, Hauptkomponente der Al_2O_3-Keramik (Sinterkorund*), Basis für hochtonerdehaltige feuerfeste Baumaterialien, Biokeramik*, Substrate für elektrische Schaltungen u. a.
- γ-Al_2O_3
  Stark fehlgeordneter Spinell, dessen Eigenschaften ebenfalls durch die Herstellungsverfahren bedingt werden. Die BET-Oberfläche kann mit 50 bis 150 m^2 g^{-1} angenommen werden. In Säuren ist es löslich. Die γ-Form (s. Bild) wird in



Elektronenmikroskopische Aufnahme von γ-Al_2O_3 (Durchstrahlung 80 kV)

der Chemie als Adsorbens, in der Keramik u. a. für die sog. transparente Keramik* herangezogen. Nachteilig ist seine hohe Schwindung (≈25 %); für eine Reihe von keramischen Anwendungen muß es deshalb calciniert werden. Zur Feststellung des Calcinierungsgrades sind folgende Untersuchungen üblich: Schüttdichte, Reindichte, Farbstoffabsorptionen (γ-Form absorbiert gut, α-Form schlecht), Röntgenanalyse, Löslichkeitsbestimmungen.

– β-Al_2O_3 (sog. β-Korund)
Streng genommen ist β-Al_2O_3 keine Al_2O_3-Form, sondern ein Na- oder Ca-Aluminat. Dieses bildet sich z. B. in schmelzflüssig gegossenen hochtonerdehaltigen Steinen. In neuerer Zeit gewinnt es bei Festelektrolyten als für Ladungsträger permeable Trennwand an Bedeutung.

Wird Tonerde – auch reine Bauxite – geschmolzen, werden die sog. Elektrokorunde erhalten; man kennt folgende Qualitäten:
Edelkorund (EK): weiß, Al_2O_3-Gehalt >98 %
Halbedelkorund (HK): hellbraun, Al_2O_3-Gehalt 96 bis 98 %
Normalkorund (NK): dunkelfarbig, Al_2O_3-Gehalt >92 %
Die Elektrokorunde werden ebenfalls in der keramischen Industrie und besonders in der Schleifmittelindustrie eingesetzt.

5) *Übergangsformen:* Im allgemeinen ist ihre Bedeutung in der Keramik gering, jedoch scheint es in einigen Sonderfällen zur Erzielung definierter Gefügeeigenschaften wünschenswert, einige Prozent als sog. reaktive Tonerde im Masseversatz zu haben.
Übergangsformen sind stark von den Herstellungsbedingungen und dem Calcinierungsregime abhängig, man kennt:

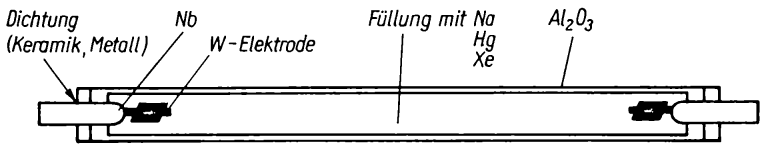
δ-Al_2O_3 tetragonal
η-Al_2O_3 kubisch, Dichte 2,5 bis 3,6 g cm^{-3}
ϑ-Al_2O_3 monoklin, Dichte 2,56 g cm^{-3}
τ-Al_2O_3 rhombisch, Dichte 3,71 g cm^{-3}
$\varkappa$-Al_2O_3 rhombisch, Dichte 3,1 bis 3,3 g cm^{-3}
χ-Al_2O_3 kubisch, Dichte 3,0 g cm^{-3}

Die schematische Darstellung der thermischen Umwandlungen von Al-Hydroxiden* und -Oxidhydroxiden über die Übergangsformen (nach *Schüller*) zeigt folgende Übersicht:

$$\text{Hydrargillit} \xrightarrow{200\ldots300\,^\circ C} \chi \xrightarrow{600\,^\circ C} \gamma \xrightarrow{1200\,^\circ C} \alpha\text{-}Al_2O_3$$
$$\downarrow 300\,^\circ C$$
$$\text{Böhmit} \xrightarrow{450\,^\circ C} \gamma \xrightarrow{700\ldots900\,^\circ C} \delta \xrightarrow{900\ldots1000\,^\circ C} \vartheta \xrightarrow{1200\,^\circ C} \alpha\text{-}Al_2O_3$$
$$\uparrow 300\,^\circ C$$
$$\text{Bayerit} \xrightarrow{300\,^\circ C} \eta \xrightarrow{900\,^\circ C} \vartheta \xrightarrow{1200\,^\circ C} \alpha\text{-}Al_2O_3$$
$$\text{Diaspor} \xrightarrow{500\,^\circ C} \alpha\text{-}Al_2O_3$$

[8, 72, 73, 80 bis 83]

Aluminiumoxid, transparentes – *in Wasserstoff oder Vakuum gesintertes Al_2O_3, das eine Porosität von 0,1 % aufweist* und für Brennerrohre bei Natriumdampf-Hochdrucklampen breiteste Anwendung gefunden hat. Diese Lampen zeichnen sich durch hohe Lichtausbeute (120 Lumen/Watt), lange Lebensdauer (bis 24 000 h) und gute Lichtqualität aus. Den Aufbau eines Entladungsrohres zeigt das untenstehende Bild.
T. A. besitzt die erforderlichen Eigenschaften, wie Resistenz gegen den aggressiven Na-Dampf, hohe mechanische Festigkeit (σ_z etwa 120 MPa) bei Be-

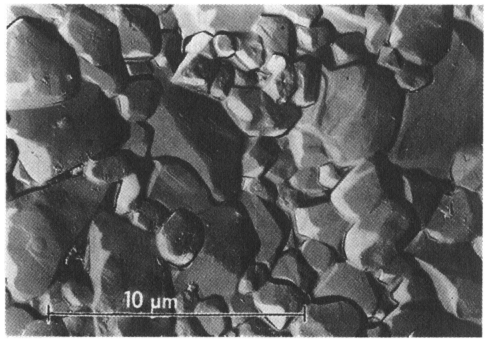


Entladungsrohr einer Na-HD-Lampe

triebstemperatur und Wärmeschockbeständigkeit. Zur Herstellung wird Tonerde (α- oder γ-Form) mit Reinheiten von 99,8 bis 99,9 % Al_2O_3 verwendet; die Korngröße soll 0,5 µm betragen (nach einigen Autoren auch wesentlich größer). Als Sinterhilfsmittel wird 0,05 bis 0,1 % MgO zugesetzt, das zugleich das Kornwachstum auf 3 bis 5 µm beschränkt. Die Technologie hat großen Einfluß auf die technischen Parameter, z.B. heißgepreßtes t.A. bringt eine bessere Lichtausbeute als normalgesintertes. [123, 159]

s. Keramik, transparente

Aluminiumoxid-Keramik – *Werkstoffe mit einem Al_2O_3-Gehalt > 80 %*, d. h., sie sind überwiegend aus α-Al_2O_3 aufgebaut (s. Bild). Die techni-



Elektronenmikroskopische Aufnahme von Al_2O_3-Keramik (Hüllabdruck 100 kV)

schen Forderungen sind in den Standards TGL 7838 bzw. DIN 40685 festgelegt. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften (nach Prospektmaterial zusammengestellt [123]) enthält das hintere Vorsatz.

Aluminiumsilicate (Tonerdesilicate)

1) Gruppe von Silicaten vom Typ $A_1A_2[O/SiO_4]$, wobei A_1 = Al in [6]-Koordination zum O und A_2 = Al in [4]-, [5]- oder [6]-Koordination sind. Danach haben die einzelnen Vertreter folgende Formeln:

Andalusit	Al[6]Al[5][O/SiO_4]
Cyanit	Al[6]Al[6][O/SiO_4]
Sillimanit	Al[6]Al[4][O/SiO_4]
Mullit	Al[6]Al[4][O, OH, F/SiO_4].

Andalusit und Cyanit zählen zu den Neso- oder Inselsilicaten, Sillimanit und Mullit zu den Ino- oder Kettensilicaten, da bei den letzteren Al in [4]-Koordination auftritt und diese Tetraeder über Sauerstoffbrücken mit den SiO_4-Tetraedern verknüpft sind. Diesen Mineralen sind im metamorphen Bildungsbereich unter hohen Drücken oft Elemente mit großen Ionen, wie Ca, Mg, Fe^{2+} und Ti, als erzwungene Fehlordnung eingebaut worden, was nicht als Diadochie* angesprochen werden kann. Bei mechanischen Beanspruchungen verhalten sich diese Minerale sehr auffällig.

2) *Andalusit* ($Al_2[O/SiO_4]$ bzw. $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, kurz A · S)

Chemische Zusammensetzung: 63,1 % Al_2O_3, 36,9 % SiO_2, in Spuren Fe_2O_3, Cr_2O_3, FeO, CaO, MgO, TiO_2

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: farblos, grau, braun, rosa; H = 7 bis 7,7; D = 3,11 bis 3,22 g cm^{-3}; *o. D.:* n_z = 1,638, n_y = 1,633, n_x = 1,629

Diagenese: fast rechtwinklig spaltend

Nutzung: Rohstoff zur Herstellung hochtonerdehaltiger feuerfester Baustoffe

3) *Cyanit* (Disthen – $Al_2[O/SiO_4]$ bzw. A · S)

Chemische Zusammensetzung: gleich Andalusit

Kristallographie: triklin

Physikalische Eigenschaften: himmelblau, *H:* anisotrop, ∥ (100) = 4,5, ⊥ (100) = 6; *D* = 3,53 bis 3,65 g cm^{-3}; *o. D.:* n_z = 1,73, n_y = 1,72, n_x = 1,71

4) *Sillimanit* (Al[$AlSiO_5$] bzw. A · S)

Chemische Zusammensetzung: gleich Andalusit

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: hellbraun, blaßgrün; Glasglanz; *H* = 7; *D* = 3,22 bis 3,25 g cm^{-3}; *o. D.:* n_z = 1,677, n_y = 1,658, n_x = 1,657

Diese drei Silicate wandeln sich bei Temperaturerhöhung in Abhängigkeit von Ursprung (Lagerstätte), Reinheit, Kornabmessung und Kristallisationsgrad um in Mullit, Andalusit und Cyanit etwa zwischen 1200 bis 1300 °C und Sillimanit zwischen 1400 und 1550 °C. Die Gegenwart von Fe_2O_3 erleichtert die Umwandlung ohne Zwischenphase.

5) *Mullit* (Al[$AlSiO_5$])

a) Benannt nach der schottischen Insel Mull, kommt jedoch in der Natur selten vor.

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: *H* = 6 bis 6,5; *D* = 3,15 bis 3,23 g cm^{-3}; *o. D.:* n_z = 1,653, n_y = 1,641, n_x = 1,639

Er zerfällt oberhalb 1800 °C in Korund und SiO_2-Schmelze.

b) Die Zusammensetzung schwankt zwischen

$Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (A · S) und $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (2A · S); am häufigsten wird 3A · 2S angegeben.
Die Struktur ändert sich mit der wechselnden Zusammensetzung nicht. Im übrigen bestehen große Analogien zwischen Mullit und Sillimanit; Unterscheidung ist nur mit IR-Absorptionsspektroskopie* möglich.
Nach *Lefort* [71] läßt sich zusammenfassen:
- Sillimanit und Mullit bestehen aus Ketten von AlO_6-Oktaedern ∥ zur [001]-Achse, welche durch Doppelketten aus AlO_4- und SiO_4-Tetraedern miteinander verbunden sind.
- Während Sillimanit eine konstante Zusammensetzung (A · S) und geordnete Struktur aufweist, sind im Mullit die Al- und Si-Ionen zufällig verteilt, und einige Si-Ionen werden, statistisch gesehen, durch Al ersetzt.

c) Je nach Ausgangsrohstoff (Oxide, Silicate), der Bildungstemperatur und den Kristallisationsbedingungen gibt es verschiedene, unterschiedlich bezeichnete Formen des Mullits:
- in fester Phase gebildeter körniger Mullit (Schuppenmullit nach *Schüller*) und in Gegenwart einer Schmelze gebildeter Nadelmullit,
- bei niedriger Temperatur gebildeter Primärmullit und den aus diesem bei hoher Temperatur neugebildeten bzw. rekristallisierten Sekundärmullit,
- Mullit D mit diffusem Röntgenspektrum und Mullit S mit scharfem Röntgenspektrum,
- α-Mullit als 3A · 2S, β-Mullit als 2A · S und γ-Mullit mit merklichen Mengen Fe und Ti (jedoch sind diese Bezeichnungen umstritten).
  Körniger und nadelförmiger Mullit können sowohl zum Primär- als auch zum Sekundärmullit gehören.

d) Der *WAK* wurde an hochreinem Mullit zu 5,2 bis 5,6 $10^{-6}\,K^{-1}$ bestimmt. Wegen seiner verfilzten Nadeltextur verleiht er den Werkstoffen trotzdem eine gute *TWB*. In Abhängigkeit vom Kristallisationsgrad verbessert sich auch die chemische Korrosionsbeständigkeit, S-Mullite sind beständiger als D-Mullite, 3A · 2S ist beständiger gegen Glasschmelzen als 2A · S. [8, 71]
s. auch System SiO_2-Al_2O_3

Aluminium-Silicium-Spinell – *stark fehlgeordneter Spinell, der sich in einer Temperaturhöhe von etwa 950 bis 1 000 °C aus dem labilen Raumgerüst des Metakaolins bildet.* Nach *Brindlay* z. B. ist die (111)-Ebene des Spinells nach der (001)-Ebene des Kaolinits und die (110)-Richtung des Spinells nach der β-Achse des Kaolinits orientiert. Verschiedene Autoren vermuten in dieser Spinellbildung die Ursache für die starke exotherme Reaktion in diesem Temperaturbereich *(Freund, F.)*. Bei höheren Temperaturen geht der A. in Mullit über.
s. Spinell

Aluminiumzement (Tonerdeschmelzzement, TEZ) – *ein Sonderzement*, der sich durch hervorragende Frühhochfestigkeit, hohe Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Kohlensäure u. a. auszeichnet. Die Rohstoffe Kalk und Bauxit werden im Wassermantelofen (einer dem Hochofen ähnlichen Konstruktion) oder im Elektroofen mit Lichtbogenheizung bei etwa 1 600 °C geschmolzen. Die langsam abgekühlte Schmelze wird zu Zementpulver vermahlen; infolge der hohen Härte des kompakten Schmelzkuchens ist das jedoch mit hohem Energieaufwand verbunden. Eine Erzeugung des TEZ auf dem Wege der Sinterung im Schachtofen ist möglich; dabei muß der Aufbereitung der Rohstoffe besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Träger der guten Eigenschaften des TEZ sind Calciumaluminat (CA) und Calciumdialuminat (CA_2). Als grobe Faustregel für die Zusammensetzung des TEZ gilt: 40 % CaO, 40 % Al_2O_3, 10 % SiO_2, 10 % Fe_2O_3. TEZ darf nicht mit Portlandzement gemischt werden.

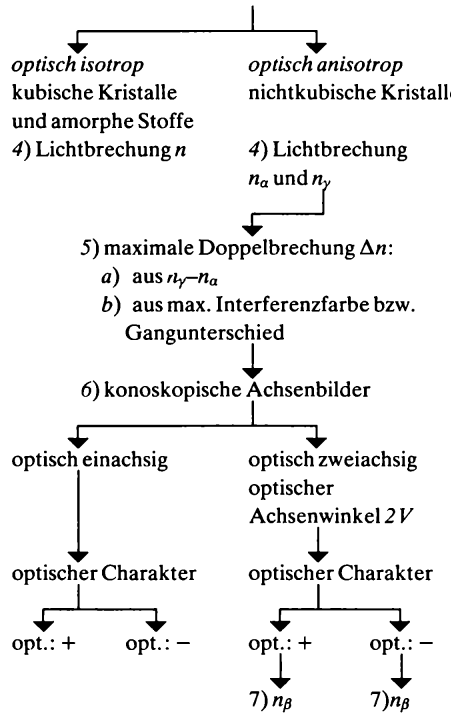
Alumosilicate – *Silicate, bei denen das Al das Si im SiO_4-Tetraeder teilweise ersetzt.* Das Radienverhältnis $Al^{3+}:O^{2-} = 0{,}51:1{,}32 = 0{,}386$ liegt zwischen der möglichen Viererkoordination (z. B. Si) und der Sechserkoordination (z. B. Mg^{2+}), d. h., Al kann in Form des AlO_4-Tetraeders im Anionenkomplex oder in Form des AlO_6-Oktaeders im Kationenkomplex wirksam werden. Während das SiO_4-Tetraeder vier ungesättigte Valenzen aufweist, bringt das AlO_4-Tetraeder fünf ungesättigte Valenzen ein. Zum Ausgleich muß ein Kation eingebaut werden, wobei große Kationen mit niedriger Ladung, wie Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Ba^{2+} bevorzugt werden. Typische Beispiele dafür sind:
Albit $Na[AlSi_3O_8]$ oder Anorthit $Ca[Al_2Si_2O_8]$.
Aluminium spielt beim Aufbau der Silicate eine Doppelrolle, einmal in Viererkoordination im Anionenkomplex und zum anderen in Sechserkoordination als Kation, letzteres allein oder mit anderen Elementen, z. B. Topas $Al_2[F_2/SiO_4]$. Es gibt auch Beispiele, wo Al-Ionen in beiden Funktionen

in einem Silicat auftreten, wie beim Cordierit $(Mg,Fe)Al_3[AlSi_5O_{18}]$. [8, 9, 16]
s. Schichtsilicate, Tonminerale

Amorphisierung (griech.: morphe = Gestalt, a = Negativ) – *eine durch Einwirkung starker Kräfte auf feste Körper herbeigeführte Verzerrung oder Destruktion des Kristallgitters.* So gelingt es z.B., durch Druck Calcit u. a., durch Feinmahlung Sand, durch schnelles Abschrecken von Schmelzen oder durch intensive Strahlung (α-Teilchen oder Neutronen) eine amorphe Struktur zu erzeugen.
s. Morphologie

Analyse, lichtoptische (griech.: ana = entsprechend, lyein = lösen) – *Aussage über Phasenzusammensetzung und Textur eines Stoffes.* Zur Bestimmung der verschiedenen Eigenschaften der Substanzen mit dem Polarisationsmikroskop im durchfallenden Licht hält man sich zweckmäßig an die in der nachfolgenden Tabelle angegebene Reihenfolge (nach *Kordes*).

1) Morphologie: Gestalt der Kristalle oder Körner, Spaltbarkeit, Bruch, Zwillingsbildung
2) Farbe: makroskopisch und unter dem Mikroskop (ohne Analysator, nur mit Polarisator), Pleochroismus
3) Verhalten der Substanz zwischen gekreuzten *Nicol*schen Prismen (orthoskopisch s. rechte Spalte):



n_α niedrigste Lichtbrechung
n_β mittlere Lichtbrechung
n_γ höchste Lichtbrechung.

Zur quantitativen Bestimmung der Anteile müssen Kreuztische mit Okularmikrometer oder besser Integrationstische herangezogen werden.

Analyse, mineralogische – *s.* Phasenanalyse

Analyse, rationelle (lat.: ratio = Verstand, Überlegung) – *Ermittlung der »mineralogischen« Zusammensetzung von Tonen, Kaolinen, Feldspatsanden u. a.*, wobei die Rohstoffe als Mischung von Tonsubstanz*, Feldspat* und Quarz* aufgefaßt werden. Es sind mehrere Verfahren zur Durchführung der r. A. bekannt:

1) Verfahren, die die Stoffe mit chemischen Mitteln zersetzen *(Berdel)*,
2) Verfahren, die die Stoffe erst glühen und dann mit chemischen Mitteln behandeln *(Kallauner)*,
3) Berechnung der mineralischen Zusammensetzung aus der chemischen Analyse: das vorhandene K_2O wird auf Feldspat umgerechnet, das restliche Al_2O_3 als Kaolinit angesehen und das verbleibende SiO_2 dem Quarz zugeordnet. Da aber Kaolin nur wenig Feldspat und Tone nie Feldspat enthalten, ist es besser, den K_2O-Gehalt auf Glimmer zu beziehen.

Wenn die Rohstoffe außer Kaolinit, Feldspat und Quarz keine anderen Minerale enthalten, liefern die Verfahren brauchbare Werte; andernfalls sind sie mit der gebotenen Vorsicht zu behandeln.
Es hat in der Literatur nicht an Kritiken gefehlt, trotzdem stellt die r. A. für die Feinkeramik ein wichtiges Hilfsmittel dar.

Analyse, stereologische – *s.* Stereologie

Analyse, thermomechanische – Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe unter statischer und dynamischer Krafteinwirkung bei einem vorgegebenen Temperaturprogramm.
s. Kriechen

Anatas (TiO_2)
Kristallographie: tetragonal
Physikalische Eigenschaften: graubraun bis schwarz; $H = 5$ bis 6; $D = 3{,}84$ bis $3{,}90\ g\ cm^{-3}$;

$\varepsilon_r = 31$; *o. D.:* $n_\omega = 2{,}554$, $n_\varepsilon = 2{,}493$, 2,489, $\Delta n = -0{,}061$, $-0{,}073$; bei ≈900 °C monotroper Übergang in Rutil

A. ist thermodynamisch instabil; stabil ist nur Rutil. Keramische Werkstoffe auf der Basis von TiO_2 enthalten nur Rutil. Eine weitere instabile TiO_2-Form ist Brookit*.

Anauxit – Tonmineral, isotyp mit Kaolinit*; Al z. T. durch H_3 ersetzt. [8]

Andalusit ($Al_2[SiO_4/O]$) – *s.* Aluminiumsilicate

Anflug – *gelbe bis schwarzbraune Verfärbungen (Flecke) der Stücke.* Sie werden durch Niederschlag von Verunreinigungen der Brenngase hauptsächlich bei Kohlefeuerungen hervorgerufen, in der Regel möglich durch undichte Kapseln. Der A. ist nach dem Glühbrand und auf der Glasur nach dem Glattbrand sichtbar.

Anflugglasur – Glasur, bei der sich die Flußmittel als flüchtige Verbindungen auf der Scherbenoberfläche bei höheren Temperaturen niederschlagen und eine glasige, glatte Haut bilden. Die bekannteste A. ist die *Salzglasur.**

Angebacken – *Fehlware;* das Werkstück ist an die Bomse oder andere Ware angesintert, beim Lösen treten Abplatzungen auf. Fehlerursachen: zu hohe Sintertemperatur, Brennhilfsmittel und Werkstück falsch isoliert, schlechtes Kapselmaterial u. a.

Anheizen – *Inbetriebnahme eines Brennaggregates.* Dabei ist zu beachten, daß die ff. Auskleidungen der Öfen nach Zustellung vor der Inbetriebnahme getrocknet und bis zur Betriebstemperatur aufgeheizt wurden. Man unterscheidet beim A. meist ein Vor- und Fertig-A. (< bzw. >600 °C). Das Vor-A. geht mit geringeren Geschwindigkeiten vonstatten als das Fertig-A. Es dürfen keine Schäden, wie Reißen gemauerter Wände oder einzelner Steine, klaffende Fugen, Verschiebungen oder Verformungen des Gewölbes oder der Brenner, entstehen. Alle Teile des Ofens müssen gleichmäßig erwärmt werden; örtliche Überhitzungen sind zu vermeiden.

Anhydrit ($CaSO_4$)

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: farblos bis bläulichrot; $H = 3$ bis 3,5; $D = 2{,}8$ bis $3{,}0\,g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}569$, $n_\beta = 1{,}575$, $n_\gamma = 1{,}613$, $\Delta n = +0{,}044$; $2V = 43°$

A. bildet Spaltrisse unter genau 90°. Beim Übergang zu Gips* tritt eine Volumenzunahme von 60 % auf.

Anionenaustausch – s. Ionenaustausch

Anisöl – *mageres ätherisches Öl,* das aus der Anis-Doppelfrucht gewonnen und in der Kerammalerei als Malmittel verwendet wird. Es macht die Farbe nicht fett, hält diese aber länger malfähig als Terpentinöl.

Anisotropie (griech.: an = entsprechend, tropos = Wendung) – *charakteristische Eigenschaft der Kristalle, die die Richtungsabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften ausdrückt.* Bei kubischen Kristallen verhalten sich die elastischen Eigenschaften und die Wachstumsgeschwindigkeit anisotrop, während sich Wärme- und Elektrizitätsleitung sowie Lichtfortpflanzung isotrop zeigen. Bei allen nichtkubischen Kristallen sind auch diese Eigenschaften richtungsabhängig.

Amorphe Körper verhalten sich wie Flüssigkeiten und sind im allg. isotrop. Werden sie jedoch mechanischen Spannungen ausgesetzt, zeigen auch sie anisotrope Erscheinungen. Der Übergang vom isotropen zum anisotropen Zusand ist immer unstetig.

Anmachwasser – *die Wassermenge, die einer (m) keramischen Masse/Rohstoff zugeführt werden muß, um sie in die für die Formgebung gewünschte Konsistenz* zu bringen.* Je nach Massezusammensetzung und Formgebungsverfahren liegt die Menge des A. zwischen 15 und 30 %. A. wird beim Trocknen wieder abgegeben.

s. Bildsamkeit, *Pfefferkorn*-Verfahren

Annihilation (lat.: an = Negation; nihil = nichts) – *Paarvernichtung, Zerstrahlung.*

Wenn ein Stoß von hochenergetischen Photonen oder mit Ruhemasse behafteten Teilchen, z. B. Protonen, auf Materie trifft, tritt eine Paarbildung ein. Es entsteht neben einem Teilchen nach Art des stoßenden Teilchens ein Antiteilchen, das bei gleichem Betrag der elektromagnetischen Parameter ein entgegengesetztes Vorzeichen aufweist, z. B. ist das Antiteilchen des Elektrons e^- das Positron e^+ mit sonst gleichen Eigenschaften, aber positiver Ladung. Obwohl die Lebensdauer des Antiteilchens mit der des zugehörigen Teilchens übereinstimmt, können beide in einer Umgebung von »gewöhnlicher« Materie nur kurzzeitig existieren, da sie infolge Paarvernichtung unter Freisetzung der der Masse äquivalenten Energie $E_0 = 2m_0\,c^2$ (m_0 = Ruhemasse des Elektrons bzw.

Positrons, c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum; E_0 liegt in der Größenordnung von 1 MeV) und unter Berücksichtigung des Impulserhaltungssatzes in zwei Photonen oder zwei oder mehrere Pionen zerfallen. Die dabei auftretende Strahlung wird als Vernichtungsstrahlung bezeichnet. Ist noch ein drittes Teilchen zugegen, kann dieses einen zusätzlichen Impuls aufnehmen. [243]

Anorthit (Kalkfeldspat $Ca[Al_2Si_2O_8]$)
Kristallographie: triklin
Physikalische Eigenschaften: weißlich, grünlich, selten rötlich; $H = 6$; $D = 2{,}6$ bis $2{,}7\,g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}576$, $n_\beta = 1{,}584$, $n_\gamma = 1{,}588$, $\Delta n = -0{,}012$; $2V = 77°$; $T_S \approx 1\,550\,°C$
A. bildet mit Natronfeldspat eine kontinuierliche Mischreihe, dagegen nicht mit Kalifeldspat.

Anorthoklas ($(Na,K)[AlSi_3O_8]$)
Kristallographie: triklin
Physikalische Eigenschaften: $D = 2{,}56$ bis $2{,}60\,g\,cm^{-3}$; dem Mikroklin ähnlich
Die Bezeichnung A. soll andeuten, daß der Na_2O-Anteil höher ist als der von K_2O.

Ansatz
1) Bezeichnung für eine angebackene Schicht zwischen Beschickungsgut und feuerfester Auskleidung in einem Industrieofen. Der A. ist wesentlich von der chemischen Zusammensetzung des Beschickungsgutes, von der Ofenführung und der Steinqualität abhängig. Beim Betrieb eines Zementdrehofens schützt eine Ansatzschicht das feuerfeste Material vor Verschleiß.
2) Als A. wird in der Kerammalerei die Stelle beim Linieren und Bändern bezeichnet, an der der Pinsel oder das Malgerät aufgesetzt bzw. abgehoben wird. Diese Ansatzstelle darf bei qualitätsgerechter Arbeit nicht zu sehen sein.

Ansaugfähigkeit – *Vermögen einer Gipsform, Gießschlicker anzusaugen und damit die Scherbenbildung einzuleiten.* Die A. beeinflußt die Standzeit bis zur Erreichung der gewünschten Scherbenstärke.

Ansbacher Porzellanmanufaktur – 1758 als Fayence-Manufaktur gegründete und 1762 nach dem Jagdschloß Bruckberg verlegte Manufaktur. 1790 kam sie unter preußische Verwaltung, nach dem Anschluß Ansbachs (1806) an Bayern ging sie in Privatbesitz über und wurde schließlich 1860 aufgelöst. Künstlerisch wertvolle Porzellane entstanden nach 1807 nicht mehr. Neben dem Kopieren von Berliner Formen sind vor dieser Zeit auch selbständige Arbeiten zu finden, wie exotische und mythologische Figuren und Gruppen. Es wurde sehr gutes Tafelgeschirr produziert. Die häufigste Marke auf dem Geschirr war A, um 1765 kam das Wappen der Stadt Ansbach hinzu; die für den Hof angefertigten Stücke erhielten die Adlermarke (s. Fabrikmarke).

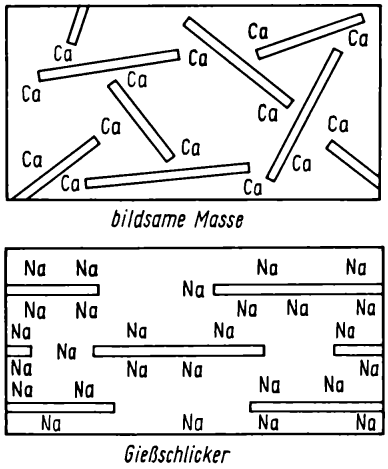
A
Anspach (Bayern) 1718

Fabrikmarke der Ansbacher Porzellanmanufaktur

Anschliff – *Präparat für die Gefügeanalyse* mittels Auflichtmikroskopie.*
Da die Beobachtungen ohne Deckglas ausgeführt werden, werden an die Oberflächengüte des A. hohe Forderungen gestellt. Die Technik der Herstellung von A. umfaßt den eigentlichen Schleifvorgang und einen Polierprozeß.
1) Das Schleifen erfolgt in der Regel mit gebundenem Korn auf wasserfestem Schleifpapier, für besonders harte Werkstoffe kann auch auf Schleifpulver (rollendes Korn) mit Metallscheiben zurückgegriffen werden. Wesentlich für die Schleifgüte ist die schrittweise Abstufung vom groben bis zum feinen Korn. Der Schleifvorgang einer Körnungsstufe ist so lange vorzuhalten, bis die vom vorhergehenden Schleifprozeß vorhandenen Riefen beseitigt sind. Trocken kann nur bei sehr weichen Stoffen geschliffen werden, im allg. wird naß geschliffen. Als Schleifmittel kommen Korund, SiC, Diamant in Betracht.
2) Der Polierprozeß hat die Aufgabe, für die zur Mikrobetrachtung erforderliche kratzerfreie Oberfläche zu sorgen. Als Poliermittel eignen sich Tonerde, Magnesia usta und Diamantpasten mit abgestuften Korngrößen von 25 bis 0,25 µm, als Poliertücher Wolltücher, Billardtücher, Samt, auch Hartholzteller können herangezogen werden.
Beide Schritte sind im Routinebetrieb automatisierbar.
A. werden besonders von stark lichtabsorbierenden Stoffen, wie Schlacken, feuerfesten Baustoffen und Erzeugnissen der technischen Keramik angefertigt, wegen ihrer schnelleren Herstellung aber auch von Stoffen, bei denen früher Dünn-

schliffuntersuchungen im durchfallenden Licht üblich waren. [117]

Ansteifen – *Verminderung der Fluidität keramischer Suspensionen (Gießschlicker)* durch Wasserentzug oder Zugabe von z. B. zweiwertigen Ca-Ionen oder Überdosierung von Verflüssigungsmitteln. Bei Na-verflüssigtem Schlicker stehen sich negative Oberflächenladung (bei Zweischichtmineralen) und positives Na-Ion gegenüber und schirmen die Oberfläche der Tonteilchen ab (s. Bild),



Schematische Darstellung der Wirkungsweise von Ca- und Na-Ionen auf Kaolinit-Wasser-Mischungen (nach *H. Scholze*)

dagegen liegt z. B. nach *Hoffmann* ein Ca-Ion jeweils zwischen zwei negativen Ladungen. Dies bedingt, daß ein negatives Potential weit in die Umgebung ragt und leicht bei einem benachbarten Teilchen »einrasten« kann, was dann zum A. führt.

Anstrichmasse – *feinkörnige, meist kalterhärtende ff. Masse für Überzüge und kleine Reparaturen,* die durch Spritzen, Verstreichen oder Verspachteln verarbeitet wird. Bei Reparaturen müssen A. im Wärmeverhalten und in der chemischen Zusammensetzung dem Mauerwerk angepaßt sein. A. enthalten meist geringe Mengen niedrigschmelzender Flußmittel (z. B. Wasserglas, Borsäure u. ä.), um die Sinterung zu beschleunigen. Zum Abdichten werden A. verwendet, wenn in periodisch arbeitenden Öfen durch das stetige Ausdehnen und Zusammenziehen Risse und undichte Stellen entstehen und die Gefahr des Ansaugens falscher Luft besteht. Außerdem dienen sie dazu, feuerfestes Mauerwerk gegen hohe Temperaturen und Schlackenangriffe zu schützen. Gegen Schlackenangriff hat sich bis zu Temperaturen von 1350 °C ein Schutzanstrich von V_2O_5 sehr gut bewährt; V_2O_5 vermindert die Benetzbarkeit. Bei Temperaturen oberhalb 1350 °C wird jedoch V_2O_5 von der Schlacke gelöst, so daß die Schutzwirkung des Anstrichs fraglich wird. Hochfeuerfeste A. haben einen Zusatz von Tonerde, Elektrokorund, in Spezialfällen Zirconiumdioxid u. a.

Antiferromagnetismus – *besondere Art des Ferromagnetismus.* Während beim Ferromagnetismus das innere Feld die Spins in den *Weiß*schen Bezirken völlig parallel ausrichtet, besteht nach *Neel* das Feld eines antiferromagnetischen Stoffes aus zwei Untergittern, deren Spins (am absoluten Nullpunkt) streng antiparallel ausgerichtet sind. In einem äußeren Magnetfeld verhalten sich antiferromagnetische Stoffe wie paramagnetische, lediglich die Suszeptibilität zeigt eine andere Temperaturabhängigkeit. A. tritt auf bei MnO, FeO, CoO u. a.

s. Magnetismus

Antikzierat – *dekoratives Muster auf Geschirrporzellan des 18. Jh.* Um den Rand des Gefäßes laufen von Bändern umschlungene Stabbündel, in Abständen durch Schuppenfelder (Ecaille-Malerei) ergänzt, die von Muschelwerk (Rocaille) und Blumenzweigen begrenzt sind. In der Porzellanmanufaktur Meißen trat A. erstmalig um 1760 auf. Als Farben wurden Purpur, Grün und Schwarz verwendet. Die Königliche Manufaktur Berlin* führte um 1770 beim A. die blaue Ecaille-Malerei ein.

Antimonoxide

1) Antimonoxid, Sb_2O_3; weiß bis gelb; $H = 2{,}5$ bis 3; $D = 5{,}2$ bis $5{,}3\ g\,cm^{-3}$; $T_s = 656\ C$; beim Glühen an Luft geht es in Sb_2O_4 über.

2) Antimontetroxid oder Antimon(III)-antimonat, Sb_2O_4 oder $Sb^{III}Sb^{V}O_4$: ein Mischoxid; $D = 6{,}6\ g\ cm^{-3}$

3) Antimonpentoxid Sb_2O_5: $D = 3{,}8\ g\ cm^{-3}$; geht beim Erhitzen über in Sb_2O_4.

A. werden in bleifreien Glasuren und in Emails als Trübungsmittel herangezogen; in Bleiglasuren tritt durch Bildung des Bleiantimonats $PbO \cdot Sb_2O_3$ Gelbfärbung auf (sog. *Neapelgelb*). Ebenfalls Gelbfärbung wird von Sb_2O_3 zusammen mit TiO_2 bedingt, während es mit SnO_2 graue und beige Farben hervorbringt.

Antischaummittel – *s.* Entschäumer

Anti-*Schottky*-Typ – *s.* Fehlordnungen

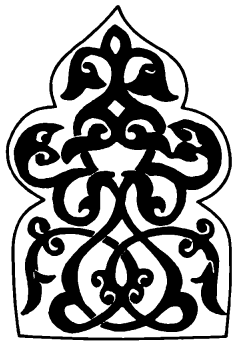
Apatit ($Ca_5(PO_4)_3F$)

Kristallographie: hexagonal

Physikalische Eigenschaften: farblos bis grün; $H = 5$; $D = 3{,}16$ bis $3{,}22\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}632$, $n_\varepsilon = 1{,}630$, $\Delta n = -0{,}002$

Verwendung: Rohstoff für Knochenporzellan, Flußmittel

Arabeske – *Ornamentform,* die aus einer stilisierten, plastischen, meist symmetrischen Blattranke gebildet wird (s. Bild); in der islamischen



Arabeske

Kunst Bezeichnung für die mehr oder weniger schematisierte Gabelblattranke.

Aragonit ($CaCO_3$)

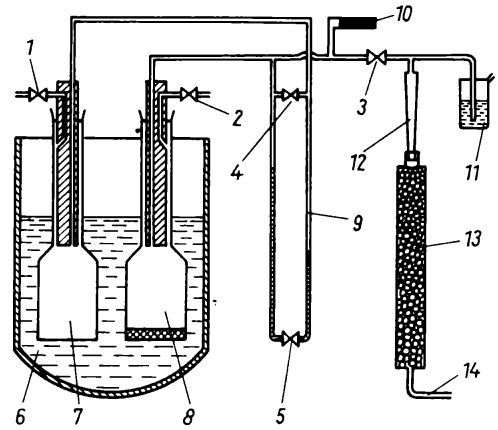
Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: $H = 3{,}5$ bis 4; $D = 2{,}95\ g\ cm^{-3}$; bei 400 °C monotrope Umwandlung in Calcit*

Aräometer (Senkwaage; griech.: araios = dünn) – *Gerät, das den hydrostatischen Auftrieb eines schwimmenden Körpers zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten/Solen ausnutzt.* Das A. ist ein spindelförmiger Glashohlkörper, der an seinem unteren Ende durch Blei oder Quecksilber beschwert ist, damit sein Massenmittelpunkt möglichst tief liegt. An seinem oberen zylindrischen Teil ist eine empirisch ermittelte Skala angebracht; an ihr wird die Dichte der Flüssigkeit/Sole, in welcher das A. schwimmt, abgelesen. Das A. sinkt um so tiefer in die Flüssigkeit ein, je geringer deren Dichte ist.

Arbeitsform – *Form zur produktionsmäßigen Herstellung von Flach- und Hohlgeschirr durch die grundsätzlichen Formgebungsarten Drehen und Gießen.* Der Arbeitsformwerkstoff ist z. Z. noch vorwiegend Gips mit geringem Saugvermögen, der besonders bei Arbeitsformen abrieb- und bruchfest sein soll. Der Formengießer bedient sich zur Herstellung der Drehformen der Modelleinrichtung, von der beliebig viele Gebrauchsformen abgenommen werden können. Bei der maschinellen Formgebung sind bereits Kunststofformen in Gebrauch.

Areameter (lat.: area = freier Platz) – *ein auf dem standardisierten BET-Verfahren* basierendes Gerät zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche* von Feststoffen* durch Stickstoffadsorption* (DIN 66 123; s. Bild). Zwei volumengleiche Gefäße, von denen



Adsorptionsapparatur

1 bis *5* Ventile
6 Kältebad
7 Vergleichsgefäß
8 Probengefäß
9 Druckdifferenzmesser
10 Ausgleichsvolumen
11 Überdruckventil
12 Durchflußmesser
13 Trocknungsturm
14 Stickstoffeinlaß

das eine die darin vorbereitete Probe enthält, das andere leer ist, werden bei Raumtemperatur mit Stickstoff von Atmosphärendruck gefüllt. Anschließend werden beide Adsorptionsgefäße in flüssigen Stickstoff eingetaucht. Bei dieser Temperatur adsorbiert die Probe Stickstoff, wodurch ein Druckunterschied zwischen Proben- und Vergleichsgefäß entsteht, der mit einem Differenzdruckmesser bestimmt wird. Aus dieser Druckdifferenz, dem Einfülldruck und der Einwaage wird die spezifische Oberfläche berechnet.

Arkanum (lat.: arcanum = Geheimnis) – *Geheimnis der Versätze für Massen und Glasuren, die Herstellungsbedingungen im weitesten Sinne.* Wer dieses Geheimnis einer keramischen Manufaktur

oder Glashütte kannte, wurde als Arkanist bezeichnet.

Arkose – *feldspat- und glimmerreiche Sandsteine,* gelegentlich auch tonige Anteile, die aus mehr oder weniger weit transportierten Verwitterungsrückständen meist primärer Gesteine entstanden sind. Die Zusammensetzung der A. bewegt sich in weiten Grenzen; Feldspatlieferant. [133]

Armieren – *Ausstattung keramischer Erzeugnisse mit metallischen Armaturen,* d. h., zwei Werkstoffe mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften werden mechanisch fest und dauerhaft miteinander verbunden. Das A. kann erfolgen:

1) mittels Kittes (Portlandzement, Bleischwefelzement u. a.): Zum Schutze gegen Verdrehungen werden dabei die Montageflächen des Porzellankörpers mit Riffelung, festglasiertem Porzellansplitt und/oder mit konischer Ausbildung versehen.

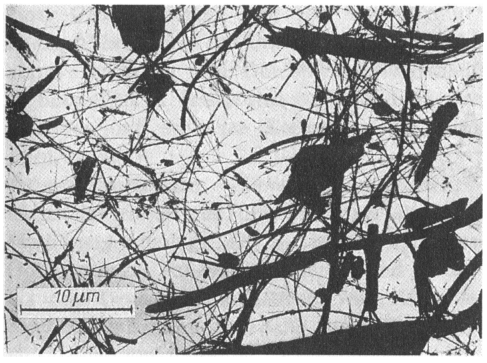
2) kittlos: Zum Beispiel werden die Flansche bei Transformator-Durchführungen aufgepreßt.

Asbest (Bergflachs) – *zusammenfassende Bezeichnung für faserige Minerale.* Die wichtigsten Vertreter sind Serpentinasbest $Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]$; Amphibolasbeste: Tremolit $Mg_5[(OH, F)/Si_4O_{11}]_2$, Aktinolith $Ca_2(Mg, Fe)_5[(OH, F)Si_4O_{11}]_2$.

A. dienen als Rohstoffe für feuerbeständige Gewebe, Isolationsmaterial gegen Wärme, Schall, Elektrizität sowie als Filtermaterial.

Die Verwendung von A. unterliegt strengen arbeitshygienischen Normen; seine Stäube* sind fibrogen und haben karzinogene Wirkung. [8.210] (s. Bild)

Asche-Glasur – *vorwiegend in China, Japan, Korea in Töpfereien verwendete Glasuren mit einem erheblichen Anteil Aschen* (Holz-, Knochen-, auch vulkanische Aschen). Dieser Anteil kann bis zu 50% des Glasurversatzes betragen. Die Zusammensetzung der Aschen ist sehr unterschiedlich, so ist die von Baumrinde reich an SiO_2, die von Holzkohle reich an Kalk und arm an Kieselsäure usw. Hauptbestandteil der meisten Aschen ist CaO; daneben kommen noch K_2O, Na_2O, MgO, Fe_2O_3, MnO_2, P_2O_5, SO_3 vor. Die Asche dient hier auch als Suspendierungsmittel.



Elektronenmikroskopische Aufnahme von Asbest (Direktdurchstrahlung 80 kV)

Äscher – *Glasurtrübungsmittel bei Kacheln und bei den Bleiglasuren echter Fayence.* Der Zinngehalt des Ä. wird dabei entsprechend dem Zinngehalt der Glasur gewählt und schwankt zwischen 15 und 24% Zinnoxid. Den Ä. erhält man, indem man durch Oxydation einer Legierung aus Blei und Zinn in einer Muffel (mehrstündiges Schmelzen unter Luftzutritt bei reichlich 400 °C) ein feingemischtes Produkt aus Bleioxid und Zinnoxid gewinnt; Verhältnis Pb:Sn = 3:1 bis 1:1.

Eine Äscherglasur ist eine Schmelz-, Fayence- oder Emailglasur, bei der das trübende Zinnoxid in Form von Ä. eingeführt wird. Das SnO_2 ist darin feinst verteilt. Dadurch werden die Deckfähigkeit und das Ausschmelzen der Glasur verbessert. Borsäurehaltige Schmelzglasuren erfordern etwas mehr Zinnoxid im Äscher. Die Glattbrandtemperatur für Äscherglasuren liegt bei 1000 bis 1080 °C.

Asphaltlack (griech.: asphaltos = Erdpech) – *Gemisch von Kohlenwasserstoffen (Bitumen) und Mineralsubstanz.* $D = 1{,}0$ bis $1{,}3\ g\ cm^{-3}$; löslich in Petroleum, Äther, Terpentin, jedoch nicht in Alkohol; wasserabweisend und widerstandsfähig gegen Alkalien und verdünnte Säuren. In der Keramik findet A. Verwendung als Abdeckmittel bei Ätzarbeiten, um Porzellanoberflächen vor Mineralsäuren zu schützen.

Assoziation (nlat.: associare = sich verbinden) – *Zusammenlagerung von Molekülen durch zwischenmolekulare Kräfte zu größeren Komplexen (Übermolekülen),* ohne daß es dabei zu einer echten chemischen Bindung kommt.

Falls dabei doch definierte Komplexe entstehen, spricht man von stöchiometrischer A., während für die nur statistisch erfaßbaren allgemeinen A. auch der Ausdruck Schwarmbildung üblich ist; Gegenteil: Dissoziation (hat aber allgemeinere Bedeutung).

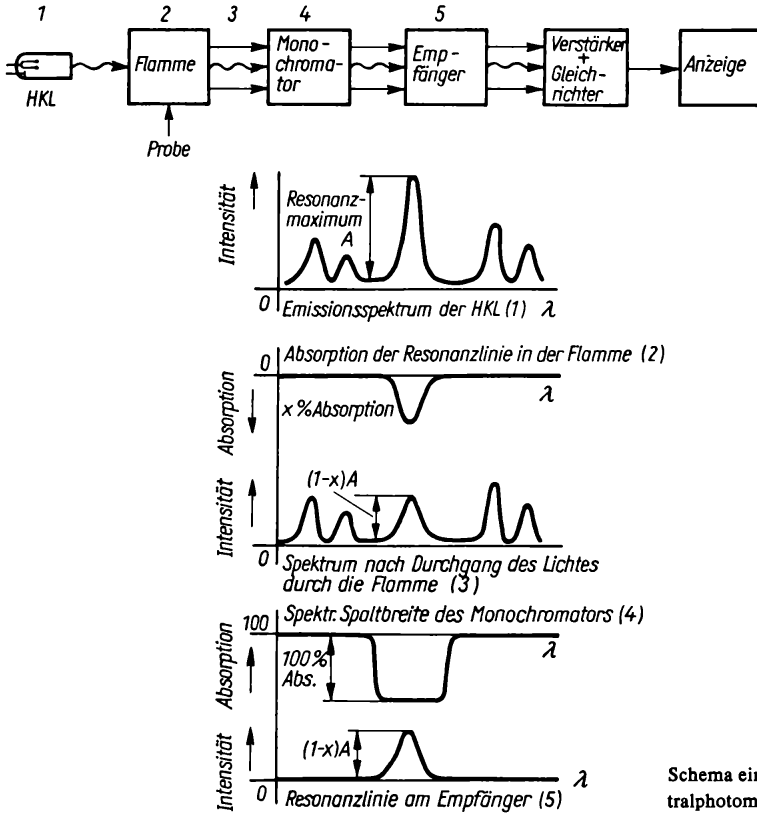
Assoziationskolloide – *s.* Kolloide

Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) – *ein selektives, hochempfindliches Elemente-Analysenverfahren,* bei dem der Nachweis und die Bestimmung der Konzentration eines Elementes durch die Schwächung erfolgt, die das Licht einer absorbierbaren Spektrallinie beim Durchgang durch das zu analysierende thermisch atomisierte Gasgemisch erfährt.

Der prinzipielle Analysengang ist im folgenden Bild dargestellt: Die Lichtquelle (*1*) wird von einer Hohlkatodenlampe (HKL) gebildet, bei der die Katode aus dem Material des zu bestimmenden Elementes besteht und das Spektrum dieses Elementes in Form schwacher Linien aussendet. In die Absorptionszelle (*2*) wird die zu analysierende Substanz (meist als Aerosol) eingebracht und dort durch heiße Flammen, z. B. durch C_2H_2/Luft, elektrothermisch in einer Graphitrohrküvette oder durch Laser* in den atomisierten gasförmigen Zustand überführt. In der Absorptionszelle nutzt man den Effekt, daß die Atome Licht der gleichen Wellenlänge absorbieren, wie sie es bei Anregung aussenden. Bei (*3*) liegt infolgedessen eine Schwächung eben dieser Resonanzlinie des betreffenden Elementes vor. Der Monochromator (*4*) bewirkt, daß entsprechend der spektralen Spaltbreite nur die zu untersuchende Resonanzlinie des Elementes durchgelassen wird, deren Schwächung auf die Konzentration schließen läßt; sie wird schließlich im Empfänger (*5*) aufgenommen. Die AAS erreicht Nachweisgrenzen in der Größenordnung von ppb (= 10^{-9}).

In der Keramik wird die AAS insbesondere zum Nachweis von Spurenelementen, Dotierungen und Verunreinigungen herangezogen; bei der Verwendung von Eichpräparaten liefert die AAS auch quantitative Aussagen. [117, 487, 488]

Attapulgit ($Mg_{2,5}[(H_2O)_2/OHSi_4O_{10}] \cdot 2\,H_2O$, Polygorskit) – *ein faseriges Tonmineral.*



Schema eines Atom-Absorptions-Spektralphotometers [488]

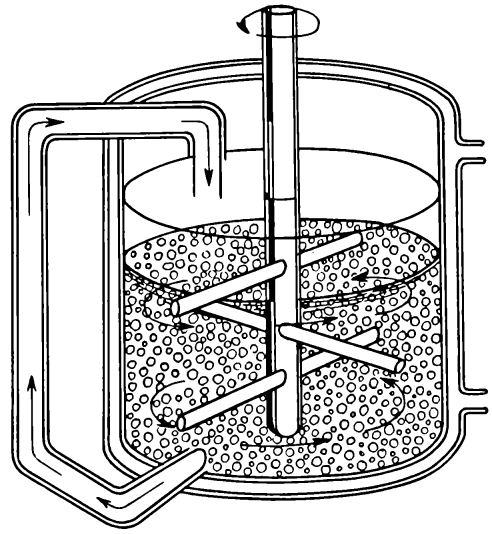
Kristallographie: orthorhombisch
Physikalische Eigenschaften: $H = 2$ bis 2,5; $D = 2{,}0\ g\ cm^{-3}$ A. kommt in Bleicherden vor und ist ein vorzügliches Adsorptionsmittel.

Atterbergsche Konsistenzgrenzen – *Mittel zur Beurteilung von Bodenproben und bildsamen Rohstoffen.* A. umfassen (s. Tabelle)

Beispiele	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Bildsamkeitszahl
Kaolinit	85...30	50...20	35...6
Illit	95...70	45...32	55...30
Montmoringruppe	650...150	110...40	590...100

1) die Ausrollgrenze; sie gibt den niedrigsten prozentualen Wassergehalt einer Probe an, die sich auf einer Unterlage gerade noch zu Rollen von 3 bis 4 mm Durchmesser ohne zu bröckeln ausrollen läßt;
2) die Fließgrenze; sie gibt den prozentualen Wasseranteil einer Probe in dem Zustand an, bei dem sie durch leichtes Schütteln zu fließen beginnt (Zufließen einer Spatelrille);
3) die Bildsamkeitszahl; Fließgrenze minus Ausrollgrenze.

Attritor (Rührwerkskugelmühle; lat. attritus = gerieben) – *Reibmühle, bei der sich das Mahlgut als Trübe mit den Mahlkugeln (Porzellan, Korund, Stahl) in einem stehenden zylindrischen Mahlbehälter befindet.* Die gesamte Mühlenfüllung wird durch das Rührwerk, das entweder in Form eines Rührkreuzes oder auf einer Achse wechselseitig versetzter Scheiben ausgebildet ist, mit einer Geschwindigkeit von 100 bis $800\ min^{-1}$ durchgerührt, wobei das Gut zwischen den Mahlkörpern zerrieben wird. Der Mahlkugelverschleiß ist beachtlich. A. lassen sich auch kontinuierlich betreiben und erreichen Korngrößen bis unter 1 µm. (s. Bild)


Schematische Darstellung eines Attritors

Ätzgoldimitation – *Dekorationsart,* bei der zunächst das Muster mit Hilfe von Firnis oder einer Mattierungsunterlage (z. B. Mattstempelpaste, Goldunterlage) auf einen glasierten und glattgebrannten Gegenstand aufgetragen wird. Anschließend wird mit sehr feinem Sand (auch Glaspulver) eingepudert und dieser bei Dekorbrandtemperaturen eingebrannt. Nach Vergoldung und einem weiteren Dekorbrand erscheinen entsprechend dem vorgegebenen Muster rauhe und glatte Flächen. In einigen Fällen kann nach einer Antrokkenzeit gleich das Goldpräparat auf die Unterlage aufgetragen werden. Die Ä. kann u. a. auch im Siebdruck hergestellt werden.

Ätzgoldkante – *ein im echten Ätzgoldverfahren, einem komplizierten und kostspieligen Prozeß, hergestelltes, wirkungsvolles Dekor.* Auf den glasierten glattgebrannten Gegenstand wird das Muster mit Hilfe von Stahldruck o. a. und mittels isolierender Präparate (z. B. Asphalt) aufgebracht. Auf die nicht isolierten (abgedeckten) Stellen läßt man Flußsäure einwirken, so daß diese dann rauh und vertieft erscheinen. Nach Entfernen des Asphaltes und gründlichem Säubern wird das Muster (Motiv), das nunmehr aus glatten und rauhen Teilen besteht, mit Poliergold überzogen. Beim Polieren nach dem Dekorbrand bleiben die tieferliegenden Stellen matt.

Ätzgrund – *eine säurebeständige Mischung aus Asphalt, Kolophonium und Wachs, die zum Grundieren von Metallplatten dient.* Nach dem Erstarren des in einer dünnen Lage gleichmäßig auf die erwärmte Platte aufgetragenen Ä. können Muster usw. eingeritzt werden. Anschließend erfolgt der Ätzvorgang.
s. Stahldruck.

Aufbereitung
1) Allg.: Verfahrenskombinationen, die Analyse, Synthese und techn. Realisierung aller Prozesse

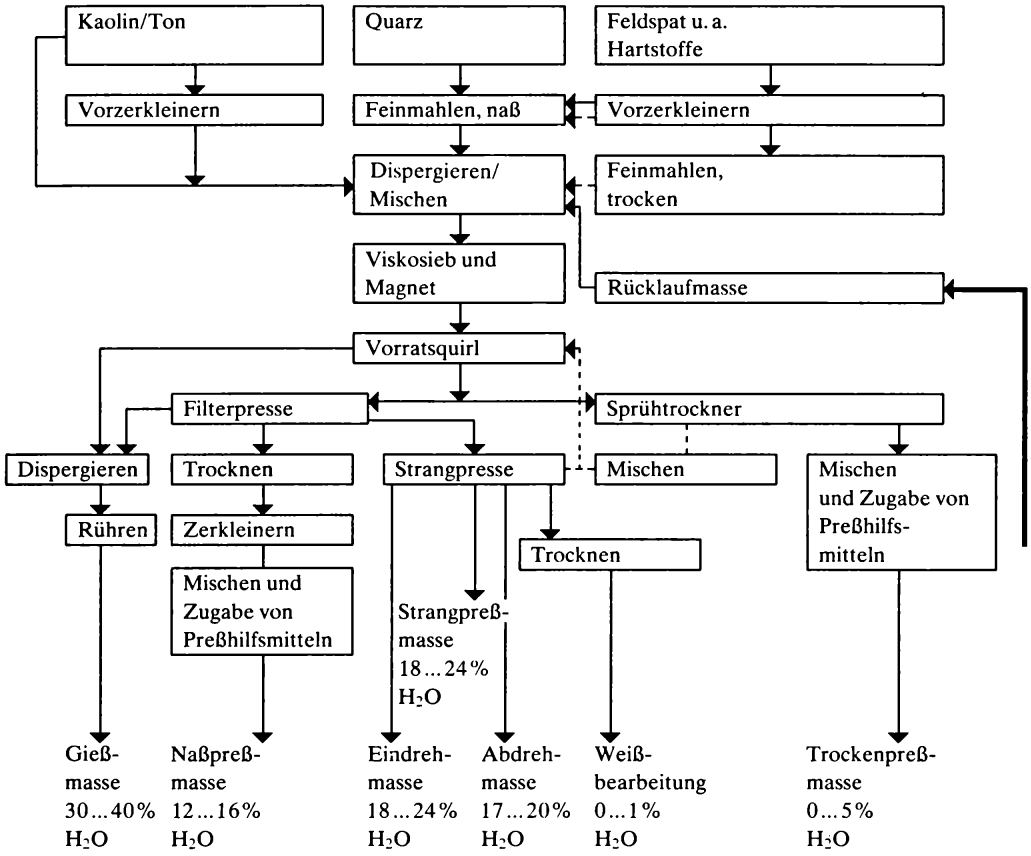
umfassen, bei denen vielseitig zusammengesetzte Ausgangsmaterialien (mineralische, synth. und sekundäre Rohstoffe), die nicht unmittelbar für die Verwertung oder nachfolgenden Verarbeitungsstufen geeignet sind, in eine für die Weiterverarbeitung brauchbare Form überführt werden. Die A. umfaßt sowohl mechanische, thermische und chemische als auch geistige Prozesse.

2) Mit dem Begriff A. werden in der Keramik alle Arbeitsgänge, die zwischen der Rohstoffgewinnung und der Formgebung liegen, zusammengefaßt. Beginnend mit der Anlieferung der Schüttgüter*, der Stückgüter*, der Flüssigkeiten und ihrer Lagerung werden sie durch geeignete Förder*- und Dosierverfahren dem Verarbeitungsprozeß mit dem Ziel zugeführt, aus variablen und heterogenen Stoffen eine – makroskopisch gesehen – homogene Arbeitsmasse herzustellen, die die für das jeweilige Formgebungsverfahren erforderlichen Merkmale aufweist. Die Masse muß die beim Trocknen* und nachfolgenden Brand* auftretenden mechanischen Spannungen ohne Rißbildung ertragen. Daher müssen die Rohstoffe sofort beim Anliefern in ihren wichtigsten chemischen und physikalischen Parametern analytisch erfaßt und etwaige Schwankungen durch Verändern des Versatzes* korrigiert werden.
Auch während des Aufbereitungsprozesses sind laufend die physikalischen Kennwerte der Masse, wie Mahlfeinheit*, Kornfraktionierung*, Wassergehalt*, Homogenität*, Bildsamkeit*, Viskosität*, Granulation*, Trockenbruchfestigkeit* u. a., zu kontrollieren.

3) Der Gesamtverlauf der A. setzt sich aus einer Reihe typischer Elementarprozesse zusammen. Sie werden je nach Eigenart der Ausgangsstoffe und des angestrebten Werkstofftyps ausgewählt und aneinandergereiht. Solche Elementarprozesse bzw. Grundoperationen sind Lagern*, Zerkleinern*, Klassieren*, Dosieren*/Mischen*, Entwässern*, Granulieren*, Mauken*. Im folgenden Fließbild ist – etwas vereinfacht – eine technologische Reihenfolge von Elementarprozessen für traditionell-techkeramische Massen dargestellt. (Die im Fließbild aufgeführten Maschinen/Vorrichtungen werden unter ihrem Begriff abgehandelt.)

4) Jahrzehntelange Erfahrungen im Aufbereitungsprozeß bestätigen, daß die Homogenität einer Masse besser ist und eine hohe *TBF** erreicht wird, wenn die feinvermahlenen Hartstoffe in die wäßrigen Suspensionen von Kaolin/Ton eingeschlämmt werden.
Während der von den Kaolinwerken bereitgestellte Kaolin im Anlieferungszustand die erforderliche Feinheit aufweist und sofort in den Lösebottich gegeben werden kann, muß der in grubenfeuchten Schollen in das Werk kommende Ton in einem Tonhobel/-schnitzler vorzerkleinert werden.
Günstig ist, den vorzerkleinerten Ton noch zu trocknen, da trockener Ton sich in Wasser leichter aufschlämmen läßt als grubenfeuchter. Außerdem enthalten Tone noch oft organische Bestandteile (Kohle, Lignin), die nur durch Naßsiebung getrennt werden können. Auch die in die Masse gelegentlich gelangenden Fremdkörper (Eisenpartikeln, Überkorn u. a.) lassen sich aus einer Suspension leichter entfernen als aus einem trockenen oder halbfeuchten Gemisch. Schließlich gibt man der Naßmahlung gegenüber der Trockenmahlung den Vorzug, obwohl sie energetisch ungünstiger ist; die Wasseranteile müssen vor den Weiterverarbeitungsprozessen entzogen werden. Bei Hartstoffen liefert Naßmahlung rundes Korn. Trockenmahlung splittriges Korn, was höheren Verschleiß an Formgebungsaggregaten verursacht.
Auf die Vermahlung von Hartstoffen wirkt sich die Zugabe von einem Teil des Tones der Masse in die Trommelmühle günstig aus; Ton hält die zum Absetzen neigenden Quarz- und Feldspatpartikeln in der Schwebe und erleichtert damit den Angriff von Mahlkugeln auf das Mahlgut.

5) Den Forderungen nach kontinuierlich arbeitenden und automatisierbaren Masseaufbereitungen ist man in den letzten Jahren durch die Errichtung zentraler Aufbereitungsanlagen für mehrere Betriebe mit Leistungen von 10^5 t a^{-1} nachgekommen. In solchen zentralen A. vereinfacht sich der Ablauf mehr oder weniger, da viele Arbeitsgänge einer Masseaufbereitung bereits vom Rohstofflieferanten ausgeführt werden. Oft wird auch auf die altbewährte Filterpresse zugunsten der Zerstäubungstrocknung verzichtet, da Sprühgranulat (Restfeuchte <0,8 %) mit Straßensilofahrzeugen unmittelbar in den zu beliefernden Betrieb gefahren und pneumatisch entladen werden kann. Zentrale Masseaufbereitungen sind mit Steuereinrichtungen versehen, in die mehrere Programme eingegeben werden, so daß die jeweils gewünschte



Aufbereitung von traditionell-techkeramischen Massen

Zusammensetzung und Feuchte einer Masse realisiert werden kann.
[14, 15, 109, 111]

Aufbrennkeramik (Kompositwerkstoffe*) – *in der Dentalkeramik* die Bezeichnung für die Verblendung eines metallischen Zahnersatzes – auch Gerüst genannt – zur Erzielung eines guten ästhetischen Aussehens.* Dentale Metallkeramik ist ihrer Natur nach ein Verbundwerkstoff Metall – Silicat, wobei man die Vorteile von Metallen – hohe Zugfestigkeit – und die der Keramik – zahnähnliches Aussehen, Verschleißhärte und chemische Resistenz im Mundmilieu – nutzt.

Als Gerüstmaterialien kommen Edelmetallegierungen und Edelstähle in Betracht, die oxydierbare Bestandteile – sog. Haftelemente – wie Sn, Fe, Cr, Mn, Ni, Mo, Co in Konzentrationen <2% enthalten. Als silicatisches Verblendmaterial werden solche keramische Systeme herangezogen, die einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten (*WAK*) aufweisen, denn für eine einwandfreie Haftung Metall/Keramik sind aufeinander abgestimmte *WAK* eine unabdingbare Voraussetzung. Außerdem sind von Bedeutung:

- der Schmelzbeginn der Metallegierungen muß deutlich über dem der Silicate liegen;
- es muß eine gute Benetzung der Metalle durch die Silicate gegeben sein;
- die Keramik muß lichtundurchlässig sein, um die Metalle abzudecken.

Nach ihrer Struktur gehören die Verbundschichten zu den rekristallisierten Gläsern, also *Glaskeramik**. Der erforderliche *WAK* von etwa $15 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ wird z. B. im keramischen System $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ durch ein Gemenge an Hoch-

und Tiefleucit erbracht. Tiefleucit wird durch Li/Rb, Hochleucit durch Cs stabilisiert. [92, 93]
s. Leucit*

Aufglasurdekoration – *farbige Gestaltung der Oberfläche glasierter, glattgebrannter keramischer Gegenstände durch Auftragen der Aufglasurfarben und anschließendes Einbrennen im Dekorbrandofen.* Entscheidend für ein gutes Aussehen sind das richtige Aufmischen der Farben, die Verträglichkeit der verschiedenen Farben untereinander, eine gute Farbzusammenstellung, eine geschickte Komposition, die richtige Malweise sowie die richtige Einbrenntemperatur. Bei evtl. notwendigen Korrekturen kann eine eingebrannte A. mittels verdünnter Flußsäure wieder entfernt werden. Der Abbeizgrad hängt dabei von der Zusammensetzung der Glasur, dem Flußgehalt der Farbe, der Einbrenntemperatur und der Säurekonzentration ab. Anschließend sind ein Nachpolieren und u. U. die Wiederholung der Malarbeit notwendig.

Aufglasurfarben (Schmelzfarben, Überglasurfarben, Muffelfarben) – *farbig getrübte, niedrigschmelzende Mischungen von Farbkörpern und/oder Farbstoffen mit Glasflüssen.* A. stellen eine reichhaltige Gruppe keramischer Farben dar, die auf die glasierte, glattgebrannte Oberfläche aufgetragen und bei 700 bis 850 °C in Dekorbrennöfen eingebrannt werden. Die Farbkomponente liegt meist ungelöst und im Spezialfluß fein verteilt als Suspension vor. Farbton und -stabilität werden in bestimmten Brennbereichen von der Wechselwirkung zwischen Fluß, keramischem Farbkörper und der Unterlage bestimmt. Mahlgrad, Temperatur und die gebildete Zwischenschicht sind weitere beeinflussende Faktoren. A. bestehen aus Farbstoff (Farbkörper), Fluß und Malmittel. Sie vertragen bei normaler Verarbeitung ein mehrfaches Brennen. Es gibt säurebeständige, mittel- und hochresistente, bleifreie, Pastell-, Matt- und Hochtemperatur-A. Die Schichtdicke der Farben beträgt etwa 5 bis 20 µm.
Im weiteren Sinne gehören zu den A. auch die Edelmetallpräparate und die Lüsterfarben.

Aufheizgeschwindigkeit – *Temperaturanstieg des im Brennaggregat befindlichen Sintergutes in der Zeiteinheit;* sie wird durch folgende Faktoren bestimmt:
- Zusammensetzung der Masse und die dadurch bedingten physikalischen und chemischen Reaktionen,
- Abmessungen des Formlings,
- Temperaturleitfähigkeit des Materials,
- thermomechanische Spannungen, die der Formling ohne Rissebildung aufnehmen kann.

Die A. muß nicht zwangsläufig während des gesamten Sinterprozesses gleich sein; es gibt kritische und weniger kritische Phasen. In der Praxis wird die A. in Brennkurven* festgelegt.
Nach *Kröckel* und Mitarbeiter liegt für Porzellan die kritische Phase im Temperaturbereich von 400 bis 700 °C während des Kaolinitzerfalls; für die A. wird dazu folgende Beziehung angegeben:

$$V_a = \frac{\sigma(1-\mu)\,a}{\alpha\,E\,r^2\,A}$$

V_a Aufheizungsgeschwindigkeit in $K\,h^{-1}$
σ tangentiale Druckspannung beim Aufheizen bzw. Zugspannung beim Abkühlen in Pa
μ *Poisson*-Zahl
a Temperaturleitfähigkeit in $m^2\,h^{-1}$
α linearer Wärmeausdehnungskoeffizient in K^{-1}
E *E*-Modul im Rohzustand in Pa
r Außenradius, Kantenlänge oder entsprechende charakteristische Abmessung in m
A geometrieabhängige Konstante mit den Werten 0,2 bis 0,5

[143, 253]

Aufheizrisse – *gut sichtbare Risse mit abgerundeten Bruchkanten des Scherbens und vorhandener Brennkante.* Ursachen dafür sind: zu schnelles oder zu stark schwankendes Aufheizen, zu hohe Restfeuchte im Formling.

Aufladung, elektrische – *Vorgang, durch den sich auf Oberflächen um Festkörper und Tropfen elektrische Ladungen bestimmter Polarität ausbilden.*
Die A. ist eine notwendige Vorstufe von bestimmten Trennprozessen, wie Elektrosortierung u. a.; sie kann sich aber auch spontan vollziehen und wird dann zur Ursache für unerwünschte Zusammenballungen (etwa bei Feinsiebungen u. a.) und kann auch zur Zündinitiale werden. Man kennt folgende Möglichkeiten zur Entstehung von e. A.:
- Treten verschiedene Stoffe oberflächlich in Kontakt, und werden sie wieder getrennt, so beobachtet man bei beiden Partnern eine positive bzw. negative Überschußladung. Dies wird mit einem Elektronenübergang infolge unterschiedlicher Elektronenergieniveaus erklärt.
- Gleiten zwei Stoffe, von denen einer ein Nichtleiter ist, aneinander vorbei, so tritt eine sog.

Reibaufladung ein. Ähnliche Abläufe führen auch zu Überschußladungen bei der Herstellung feinkörniger Feststoffe durch Zerstäuben von Schmelzen bzw. Versprühen von Flüssigkeiten.

- Werden Teilchen im elektrischen Feld influenziert und mit einem Leiter in Kontakt gebracht, so geben diese dabei die auf die Berührungsseite verschobene Ladung ab, sofern sie eine ausreichende Leitfähigkeit besitzen. Da verschiedene Feststoffe differenzierte Aufladungen erlangen, ist eine nachfolgende Elektronisierung möglich.
- Eine technisch genutzte e. A. ist im Koronafeld gegeben. Die Koronaentladung ist eine selbständige Gasentladung und wird durch zwei großflächige, geerdete Elektroden und parallel dazu aufgespannten Drähten realisiert. An die Drähte wird eine solche Spannung angelegt, daß sich noch in ihrer unmittelbaren Nähe eine genügend hohe Feldstärke ausbildet, um Stoßionisationen auszulösen. Teilchen, die sich im Koronafeld befinden, nehmen dadurch eine Grenzladung an, die von ihrer Oberflächenform und Dielektrizitätskonstante beeinflußt wird.

[15]

Auflichtmikroskopie – *ein Mikroskopierverfahren, das die Oberflächen undurchsichtiger sowie die Oberflächen und das Innere durchsichtiger Körper zu betrachten gestattet.* Dazu muß das Objekt von der dem Objektiv zugekehrten Seite beleuchtet werden (s. Bild). Bei Objektiven mit kurzer Brennweite erfolgt die Beleuchtung durch das Objektiv hindurch, d. h., das Objektiv dient zugleich als Kondensor. Viele Polarisationsmikroskope können sowohl für Durchlicht- als auch A. eingesetzt werden.

Auflösungsvermögen

1) allgemein: Eigenschaft einer Anordnung, räumlich oder zeitlich eng benachbarte Werte noch trennen zu können.

2) beim Mikroskop: Der Abstand s zwischen zwei Objektpunkten, die vom Objektiv noch sauber getrennt werden können, ist

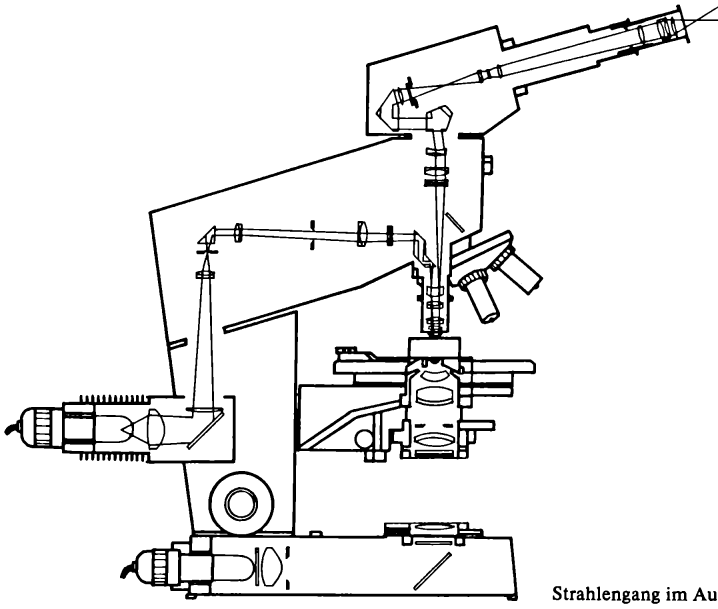
$$s = \lambda / A$$

λ Wellenlänge des Lichtes
A numerische Apertur des Objektivs.

3) bei Spektrographen: Es ist der Bereich des Spektrums*, ausgedrückt als Wellenlängendifferenz $\lambda_1 - \lambda_2$, der auf einer fotografischen Platte auf der Strecke l noch untergebracht werden kann:

$$D = (\lambda_1 - \lambda_2)/l.$$

4) beim Meßgerät: Es ist der Quotient aus Meßbe-



Strahlengang im Auflichtmikroskop

reich und Skalenwert. Hat z. B. ein Feinzeiger einen Meßbereich von 10 mm und einen Skalenwert (seine kleinste Skalenteilung) von 0,01 mm, so hat er ein A. von 1 000.

Aufschließen

1) Chemie: Überführen schwerlöslicher Stoffe in wasser- oder säurelösliche Verbindungen durch gasförmige, flüssige oder feste Aufschlußmittel bei erhöhten Temperaturen. Die wichtigsten festen Aufschlußmittel sind Natriumcarbonat, Natriumhydroxid, Kaliumhydrogensulfat, Calciumcarbonat und Ammoniumchlorid.

2) Bergbau: Zerkleinern von verwachsenen Mineralien, um die beteiligten Wertkomponenten freizulegen, z. B. Trennen der Tonmineralien von unbildsamen Verunreinigungen.

3) Keramik: Homogenisierung der Massen durch gleichmäßige Umhüllung der Tonmineralteilchen mit Wasser durch Mauken*, Heißaufbereitung mit Wasserdampf u. a.

Aufsetzemails – *Mittel zum Aufbringen feiner erhabener Dekors auf Porzellan und Glas,* die bei 700 bzw. 600 °C eingebrannt werden. Diese A. werden magerer angerieben als normale Farben, so daß sie beim Auftragen in starker Lage ohne Verlaufserscheinungen stehenbleiben, nicht zur Rißbildung neigen und beim Brennen nicht schwinden.

Aufsetzweiß – *farbloses, weißgetrübtes Email* (auch Glasur) für das Auftragen erhabener Details auf den glasierten glattgebrannten Fond zur Erzielung besonderer Kontrastwirkungen; Einbrenntemperatur 600 bis 800 °C.

Aufwachsung – *s.* Epitaxie

***Auger*-Spektroskopie** (AES; lat.: spektrum = Bild, spektare = spähen; griech.: skopein = untersuchen) – *Verfahren zur Untersuchung der obersten zwei bis drei Atomlagen einer Festkörperoberfläche* (z. B. Ausscheidungen*, Fehlordnungen* u. a.). Die A.-S. beruht auf der meßtechnischen Ausnutzung des *Auger*-Effekts. Danach wird die Anregungsenergie eines Atoms (Moleküls) oder eines an einer Störstelle lokalisierten Elektrons nicht in Form eines Lichtquants abgegeben, sondern dient zur Abtrennung eines Elektrons aus dem Atom- bzw. Molekülverband (Selbstionisation).

Die Energie der *Auger*-Elektronen entspricht bestimmten Elektronenübergängen, d. h., sie kennzeichnet also in erster Linie die Atomart (qualitative Analyse).

Der Einfluß der chemischen Bindung macht sich andererseits in einer Verschiebung der *Auger*-Elektronen-Peaks bemerkbar.

Über die Zahl der *Auger*-Elektronen, d. h. über die Flächengröße unter den *Auger*-Elektronen-Peaks, sind quantitative Aussagen möglich. [117, 23, 238]

Aurumcolor (lat.: aurum = Gold, color = Farbe) – *ein Dekorationsmittel.* Mit Lavendelöl angeriebene Aufglasurfarben werden auf einer bei 850 bis 900 °C eingebrannten und polierten Goldgrundierung mit einem Tupfpinsel in sehr dünner Lage aufgetragen. Danach wird durch Berühren mit einem in Nitrobenzol oder Alkohol befeuchteten Pinsel erreicht, daß die Farbe auseinanderläuft. Auch ein Einradieren ist möglich. Abschließend erfolgt ein sauberer, oxydierender Dekorbrand.

Ausblühungen – *Ausscheidungen an der Oberfläche keramischer Erzeugnisse, die auf lösliche Salze zurückzuführen sind.* Meist sind es Sulfate von Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen und Vanadium. Die zerstörende Wirkung der A. ist abhängig von der Menge der vorhandenen löslichen Salze, von der Löslichkeit dieser Salze, von Menge, Größe und Form der Poren, vom Rhythmus des Austrocknens und Feuchtwerdens. Die gelösten Salze gelangen z. B. bei Ziegeln durch den Verdunstungsprozeß aus dem Innern an die Oberfläche, bei keramischen Massen können sie u. a. durch das Anmachewasser hineingelangt sein. Weißliche A. sind auf Gips bzw. schwefelsauren Kalk, rot- bis gelbbraune auf Umwandlungen von Eisenverbindungen, grünliche auf Vanadate zurückzuführen. Chloride, Nitrate und Carbonate, die im Brand dissoziieren, sind unschädlich. Zur Unterbindung von A. kann bei Mauerwerk Trokkenlegen, Unterbindung der Wasserzufuhr, Imprägnieren (Silicone), in anderen Fällen die chemische Bindung der Salze (z. B. Zusatz von Bariumsalzen) helfen.

Ausbrennstoffe – *Stoffe zum künstlichen Porösmachen ff. Baustoffe auf der Basis von Schamotte, Silica oder Sillimanit.* Sie werden den Massen zugesetzt, brennen während des Brennprozesses der Formlinge aus und hinterlassen Hohlräume. A. sollen möglichst wenig Asche hinterlassen. Die bekanntesten A. sind: *Sägemehl* (besonders von Harthölzern), *Braunkohlenabrieb* (allerdings mit relativ viel Gips- und schwefelhaltiger Asche), *Torf-* und *Petrolkoks.*

Ausdehnung, thermische (Dilatation) – *Größenänderung eines Körpers durch Temperatursteigerung.*
Von wenigen Ausnahmen (Wasser, Bismut, einige Lithiumsilicate u. a. in einem beschränkten Temperaturbereich) abgesehen, dehnen sich alle Festkörper mit steigender Temperatur aus; sie haben einen positiven thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der sich mit der Temperatur vergrößert und am absoluten Nullpunkt dem Wert Null zustrebt. Zur theoretischen Deutung nimmt man an, daß mit steigender Temperatur die Schwingungsamplituden der Gitterbausteine größer werden, d. h., die th. A. beruht auf einer Vergrößerung der Gitterabstände.
In der keramischen Praxis beschränkt man sich im allg. darauf, nur die Längenzunahme bzw. den (thermischen) linearen Ausdehnungskoeffizienten α eines Materials anzugeben.
Der lineare *AK* ist definiert:

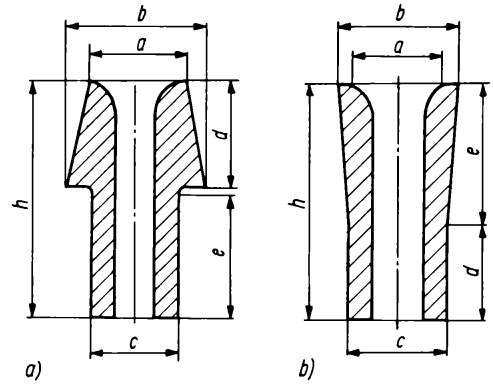
$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \frac{\Delta l}{l_1 \Delta\vartheta}$$

α linearer Ausdehnungskoeffizient (in K^{-1})
l Länge (in m)
ϑ Temperatur (in °C bzw. K).

Bei Einkristallen stellt der lineare Ausdehnungskoeffizient eine richtungsabhängige Größe dar, deren Hauptachsen mit den kristallographischen Achsen zusammenfallen. Bei polykristallinen und mehrphasigen Werkstoffen gleichen sich die Unterschiede aus, sie verhalten sich quasiisotrop.
Die Messung des linearen Ausdehnungskoeffizienten erfolgt mit dem Dilatometer. Die linearen Ausdehnungskoeffizienten betragen z. B.:

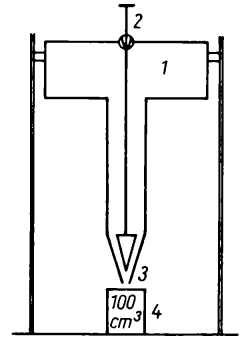
Porzellan	$38...45 \cdot 10^{-7}\,K^{-1}$
Steingut	$40...45 \cdot 10^{-7}\,K^{-1}$
Kieselglas	$5 \cdot 10^{-7}\,K^{-1}$
Cordierit	$\approx 12 \cdot 10^{-7}\,K^{-1}$
Eisen	$\approx 120 \cdot 10^{-7}\,K^{-1}$.

Ausguß – *aus Schamotte, hochtonerdehaltigen Rohstoffen (z. T. mit Graphitzusätzen) oder basischen Stoffen hergestellter Auslaufstein von Gießpfannen.*
A. sind hohen Temperaturen und starken abrasiven und korrosiven Kräften ausgesetzt und verschleißen. Sie müssen daher nach jedem Guß ersetzt werden. A. werden durch sog. Stopfen verschlossen, die mittels Hebezeugs abgehoben werden und dann die Öffnung für den Abfluß des flüssigen Stahls freigeben. Die Form der A. ist genormt. (s. Bild)



Ausgüsse
a) von außen (unten) einzusetzen
b) von innen (oben) einzusetzen

Auslaufviskosimeter – *Vorrichtung in der Betriebskontrolle zur Bestimmung des rheologischen Verhaltens von Schlicker* durch Messung der Auslaufzeit.*
Gebräuchlich sind Pipetten mit einem Fassungsvermögen von 200 cm^3, wobei die untere Öffnung so eingestellt sein soll, daß 100 cm^3 Wasser von 20 °C in etwa 3 s ausfließen. Als Viskosität wird die Sekundenzahl angesehen, die 100 cm^3 Schlikker zum Ausfließen benötigen. Robuster ist eine Ausführung nach *Kohl*; sie besteht aus einem Metallzylinder mit aufschraubbarer Ausflußöffnung und mechanisch zu bedienendem Kegel zur Freigabe der Ausflußöffnung (s. Bild).



Modifiziertes Auslaufviskosimeter nach *Kohl*
1 Gefäß zum Aufnehmen des Schlickers
2 Vorrichtung zum ruckartigen Öffnen der Düse
3 Düse
4 Becherglas

(Für wissenschaftliche und genaue rheologische Messungen – vor allem nichtnewtonscher Systeme – eignen sich A. nicht, weil die Beziehungen zwischen den direkt gemessenen konventionellen Größen und dem rheologischen Verhalten

ungeklärt oder nur näherungsweise bekannt sind. So tritt infolge der relativ großen Länge der Kapillare/des Zylinders im Vergleich zum Durchmesser und der dadurch bedingten Änderung der kinetischen Energie ein Endeffekt auf, durch den die mathematische Beschreibung des Fließens* erschwert wird.)

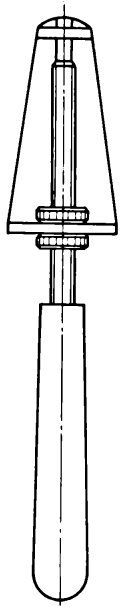
Ausradieren – *in der Kerammalerei das Entfernen aufgetragener Farbe mittels Pinsels nach gegebener Vorlage, so daß bestimmte Dekoreffekte entstehen.* An diesen Stellen wird die Glasuroberfläche wieder sichtbar und in das Dekor als Weiß oder als sog. *Lichter* mit einbezogen.

Ausscheidung – *Bildung einer neuen Phase* (Keimbildung) aus einem übersättigten Mischkristall, bei polymorphen Umwandlungen oder auch bei übersättigten Lösungen, z. B. die sog. Metallisierung* bei Braunglasuren (Glasurfehler).

Ausscheidungstrüber – Stoffe (z. B. TiO_2), die sich zunächst in der Glasschmelze lösen, später durch Wärmebehandlung (z. B. bei Emaillierbrand) wieder ausscheiden und wegen ihrer gegenüber der Glasmatrix verschiedenen Brechungsindices eine Trübung hervorrufen.

Ausschneidharfe – *Spannbügel mit Drahtschlinge* zum Ausschneiden des Falzes bei Kannen. (s. Bild)

Aussommern (Sommern) – *eingehendes Durchfeuchten der rohen Tonschollen* mit längerem Liegenlassen, dem Sumpfen und Mauken ähnlich. *s.* Auswintern



Ausschneidharfe

Aussprengen – Herauslösen von Farbe aus einer gespritzten Fläche (Fond) mit Hilfe von Nelken- oder Aussprengöl und entsprechenden Zusätzen, so daß an diesen Stellen wieder die weiße Glasurfläche erscheint. Voraussetzung ist ein griffester Fond.

Aussprengöl – *Spezialöl (aus ätherischen Ölen, vorwiegend Nelkenöl) zum Aussprengen.* Das A. wird mit sog. Aussprengweiß wie eine malfertige Aufglasurfarbe angerieben und auf die auszusprengenden Flächen des Farbfonds aufgetragen. Das *Aussprengweiß* (hinterläßt im Dekorbrand keine Spuren) dient dem besseren Erkennen der Konturen und Linien. Das A. weicht die Lackgrundlage des Fonds auf, und mit Hilfe eines saugfähigen Materials (z. B. Sägemehl) kann die Farbe entfernt werden.

Auswintern – *Liegenlassen des Rohtones in Schollenform im Winter an freier Luft.* Dadurch ist er allen Angriffen der Atmosphäre ausgesetzt. Die flachen Tonhalden werden mit Wasser begossen, das bei entsprechenden Temperaturen gefriert und durch seine Ausdehnung den Ton auflockert. Bei Tauwetter zerfallen die Stücke. A. ist wirkungsvoller als Aussommern und vor allem bei sehr fetten und bei schieferigen Tonen günstig.

autochthon (griech.: autos = selbst, chton = Erde) – Bezeichnung für Lagerstätten von Rohstoffen, die sich am Entstehungsort befinden, d. h. keinen Transport erfahren haben; Gegenteil: allochthon.

Autoklav (griech.: autos = selbst; lat.: clavis = Schlüssel) – *dampf- und gasdicht verschließbares, starkwandiges Gefäß, bei dem sich der Betriebsdruck infolge des Verhaltens des Füllmediums bei Erwärmung zwangsläufig einstellt.* A. sind meist mit Thermometer, Manometer und gelegentlich mit Rührwerk ausgestattet.

Verwendung: Hochdrucksynthese, Fuchsindruckprüfung, Prüfung von Steingut auf Haarrißbildung u. a.

Aventurin – *in der Natur vorkommende Abart des Quarzes, SiO_2.* A. weist eingelagerte feine Glimmerteilchen oder Kristalle von Eisenoxid (Fe_2O_3) als winzige goldglänzende Flitter auf.

Aventuringlasur – *Glasur, bei der winzige Kristalle sich als zahlreiche feine, goldschimmernde Flit-*

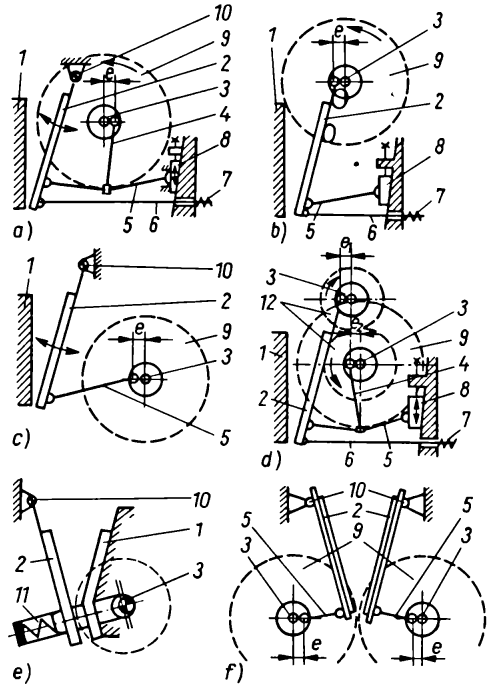
ter zeigen. Die Grundglasur wird mit Eisen- oder Chromoxid, Titan- oder Zinkverbindungen übersättigt. So kommt es zu Kristallausscheidungen innerhalb der Glasurschicht, im Gegensatz zu den eigentlichen Kristallglasuren, bei denen die Kristalle an der Oberfläche sitzen. Als Grundglasuren eignen sich besonders bleifreie, alkalische Borglasuren mit möglichst niedrigem Al_2O_3-Gehalt, denen z. B. 10 bis 15 % Fe_2O_3 zugesetzt werden. Die Kristallbildung kann durch Wolfram- und Molybdänsäureanhydrid-Zusätze in Mengen von 1 bis 2 % wesentlich gesteigert werden.

B

Backenbrecher – *Grobzerkleinerungsmaschine für harte, vor allem mineralische Stoffe.* Das Brechgut wird zwischen einer festen und einer beweglichen oder zwischen zwei beweglichen Backen durch Zerdrücken, Zerquetschen und Zerreiben zerkleinert. Die Bewegung der Backen wird durch Exzenter und Kniehebelsystem erzeugt. Für den Zerkleinerungsgrad n gilt:

$$n = \frac{\text{Brechmaulweite}}{\text{Spaltweite}}.$$

Backen mit Längsrillen brechen das Material gröber als solche mit Querrillen. Der Einzugswinkel darf den Reibungswinkel nicht überschreiten, so daß das Brechgut sicher eingezogen wird. (s. Bild)



Übersicht über Funktionsprinzipien von Backenbrechern
a) Pendelschwingenbrecher
b) Kurbelschwingenbrecher
c) Direktbrecher
d) Pendelkurbel-Schwingenbrecher
e) Schlagbrecher mit geneigtem Brecherraum
f) Zweischwingenbrecher (Schnellschlagbrecher)
1 Gehäusebrechbacke, *2* Schwingenbrechbacke, *3* Antriebswelle mit Exzenter, *4* Zugstange, *5* Druckplatten, *6* Federzugstange, *7* Rückholfeder, *8* Spalteinstellteile (Keil, Gleitklotz und Distanzplatten, Verstellspindel), *9* Schwungscheiben, *10* Schwingenachse mit Schwingenlager, *11* Druckfeder, *12* Zahnräder

Backstein – *s.* Mauerziegel

Baddeleyit (ZrO_2) – *Mineral.*
Kristallographie:

$$ZrO_2 \underset{1\,000\,°C}{\overset{1\,100 \text{ bis } 1\,200\,°C}{\rightleftharpoons}} ZrO_2 \xrightarrow{2\,300\,°C} ZrO_2$$

monoklin tetragonal kubisch

Physikalische Eigenschaften: farblos bis schwarz; $H = 6{,}5$; $D = 5{,}4$ bis $6{,}0\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 2{,}13$, $n_\beta = 2{,}19$, $n_\gamma = 2{,}20$, $\Delta n = -0{,}07$; $2V = 30\,°$; $T_S = 2\,700\,°C$

Sowohl das monokline als auch das tetragonale ZrO_2 haben eine »deformierte« Flußspatstruktur; das kubische ZrO_2 besitzt Flußspatstruktur*. B. aus natürlichem Vorkommen hat nur geringe Bedeutung. In der Keramik wird das fast ausschließlich auf chemischem Wege aus Zirkon* hergestellte Zirconiumdioxid verwendet. [8, 168, 561]

Ball Clay – *ff. bildsamer Ton, der durch organische Beimengungen dunkel gefärbt ist, aber weiß oder cremefarbig ausbrennt.* B. C. setzen sich in der Hauptsache aus Kaolinit und weniger aus Montmorillonit zusammen. Die Bezeichnung geht auf die in England angewendete Abbaumethode zurück, wonach der Ton in Würfelform oder »ball«-Form abgestochen wird.

Verwendung: Steingut, Porzellan, allg. zur Verbesserung der Bildsamkeit.

Balsam (hebr.: »Wohlgeruch«) – *ätherisches Öl, ein Gemisch von Harz mit flüchtigen Ölen* (aus Kiefern, Tannen und Fichten), dickflüssig, braun bis rotbraun, meist mit starkem Geruch. Durch Destillation des Roh-B. erhält man Terpentinöl, als Destillationsrückstand Kolophonium. Im Handel werden B. häufig nach ihrer Herkunft bezeichnet (Kanada-, Peru-B., Japanlack). B. wird keramischen Farben zugesetzt. Er macht sie zwar fett, aber auch zäh und geschmeidig. Die Griffestigkeit eines noch nicht gebrannten Dekors hängt in hohem Maße vom Zusatz an B. ab.

Bändermodell – *Darstellung der erlaubten und verbotenen Energiebereiche (Energiebänder, kurz: Bänder) für Ladungsträger in einem Festkörper* in Abhängigkeit vom Ort.* Das B. trägt wesentlich zum Verständnis von Leitungsvorgängen in Festkörpern bei.

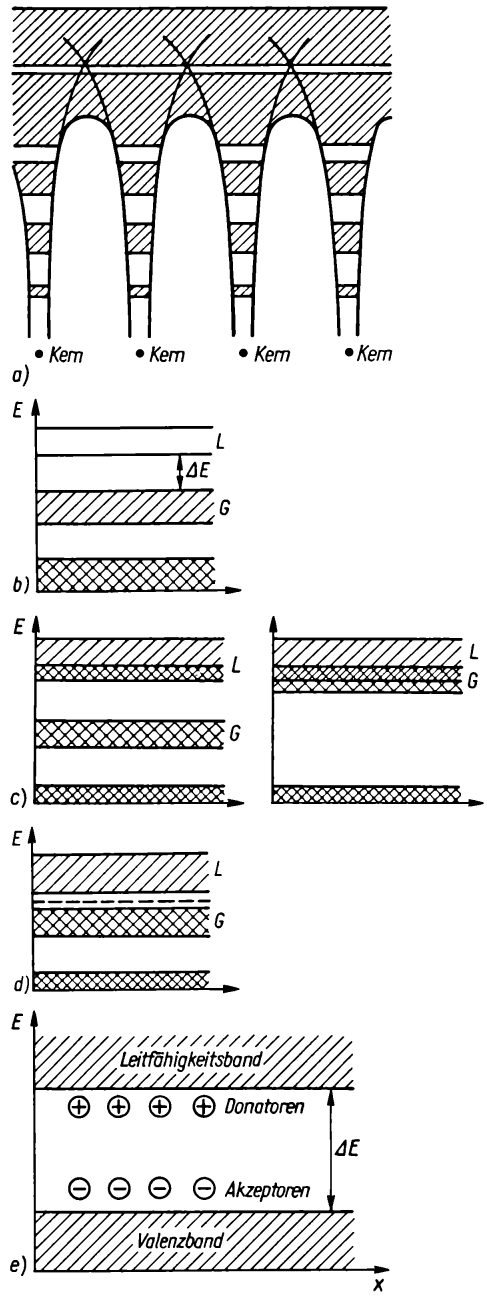
1) Bild *a)* zeigt den periodischen Potentialverlauf eines Kristalls; die höheren Bänder erstrecken sich ohne Unterbrechung durch den ganzen Kristall hindurch; Elektronen können nicht mehr einzelnen Atomen zugeordnet werden, d.h., sie bewegen sich frei.

Die mittleren Bänder sind bereits durch schmale Potentialwälle getrennt. Die Elektronen dieser Bänder haben gleichfalls keine eindeutige Zuordnung und können ausgetauscht werden. Die Bewegungsmöglichkeit der tieferliegenden Elektronen ist äußerst gering; sie sind fest an das Atom gebunden.

Zwischen den Bändern befinden sich sog. verbotene Zonen, d.h. Energiebereiche, die die Elektronen nicht ausfüllen dürfen (*Pauli*-Verbot).

Allgemein faßt man die mittleren vollbesetzten Bänder (einschließlich Valenzband) zu dem sog. Grundband (G-Band) zusammen. Das darüberliegende Band – meist Leitfähigkeitsband (L-Band) genannt – ist für die elektrische Leitfähigkeit von besonderem Interesse. Entsprechend seinem Füllungsgrad und seiner energetischen Lage zum Grundband sind die Stoffe als Isolatoren, Leiter oder Halbleiter anzusprechen.

2) Bild *b)* zeigt das B. eines Isolators. Das Grundband ist voll mit Elektronen ausgefüllt; das folgende Leitfähigkeitsband ist leer. Der Abstand des L-Bandes ist erheblich. Die Energiedifferenz ΔE ist so groß, daß bei gewöhnlichen Temperaturen



a) Periodisches Potentialfeld eines Kristalls
b) Energiebändermodell eines Isolators
c) Energiebändermodelle von Leiterkristallen
d) Energiebändermodell eines Eigenhalbleiters
e) Energiebändermodell eines Störhalbleiters

selten ein Elektron einen solchen Energiebetrag aufnimmt, um die verbotene Zone überspringen zu können. Allgemein rechnet man Stoffe, bei denen $\Delta E > 3$ eV ist, zu den Isolatoren.

3) Bild *c*) zeigt das B. eines Leiterkristalls. Grundband und Leitfähigkeitsband überlappen oder berühren sich, d. h., für den Stromtransport ist keine Aktivierungsenergie notwendig.

4) Bild *d*) zeigt das B. eines Eigenhalbleiters. Das Grundband ist aufgefüllt, das Leitfähigkeitsband leer. Der Abstand zwischen beiden Bändern ist sehr klein, so daß eine geringe Energiezuführung genügt, um Elektronen in das Leitfähigkeitsband anzuheben. Am Stromtransport beteiligen sich dann die Elektronen im L-Band und gleichzeitig die Defektelektronen, die sich durch Abwandern der Elektronen im G-Band gebildet haben. (Dieser Mechanismus ist z. B. bei Germanium bei höheren Temperaturen realisiert.)

5) Bild *e*) zeigt das B. eines Störhalbleiters. Die elektrische Leitfähigkeit wird durch Störstellen im Kristall erzeugt. Die Störstellen erfordern eine viel geringere Aktivierungsenergie, als bei der Freisetzung von Elektronen aus der chemischen Bindung des Wirtsgitters* sonst aufzubringen ist. Zum Beispiel beträgt die Aktivierungsenergie E_{Donator} bei Germanium, das mit 5wertigen Elementen (Sb, As u. a.) dotiert wird, nur 0,02 eV gegenüber $E = 0{,}72$ eV, wenn die Leitungselektronen aus dem Valenzband stammen.

[64, 148, 160]

Bändertone – *in bestimmten Schichtenfolgen abgelagerte Tone.* Es gibt eine Reihe von Tonlagerstätten, die eine deutlich unterscheidbare helle und dunkle Schichtenfolge zeigen, welche man auf Sedimentationszyklen zurückführt. Die Ursachen für diese Zyklen liegen in jahreszeitlich bedingten Schwankungen der die Tontrübe transportierenden Zuflüsse. Zur Zeit der größeren Zuflußmengen, im Sommer, werden auch gröbere Teilchen, z. B. Quarz, transportiert, die sich durch eine hellere Farbe auszeichnen. Dagegen gelangen im Winter, in der Zeit geringerer Einflüsse, nur die Feinteilchen bis in das Absatzbecken; letzere sind oft stärker mit organischen Substanzen angereichert und zeichnen sich durch dunkle Farbe aus.

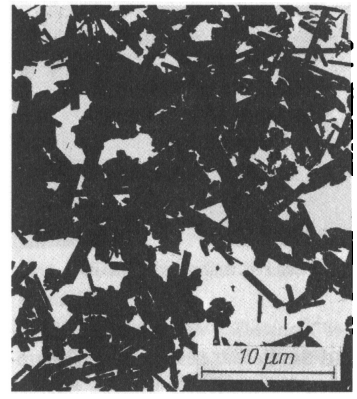
Bandofen – *s.* Schnellbrandofen

Bandwaage – *ein Gerät zur kontinuierlichen Bestimmung eines Massestroms (z. B in kg h^{-1}) auf Gurtförderern.* Ein Stück des Traggerüstes oder eine Tragrolle ist auf eine Waage gesetzt. In Verbindung mit einer Integrationseinrichtung kann die B. zum Feststellen von Massen, die in bestimmten Zeitabschnitten durchgesetzt wurden, benutzt werden (s. Dosierbandwaage, Gattierungswaage).

Für die diskontinuierliche Dosierung wird häufig die sog. Zuteilerbandwaage herangezogen: die aus einem Bunker auf die Waage fließende Schüttgutmenge wird abgemessen, dabei schaltet die Waage im Unterschied zur Dosierbandwaage nach Abgabe einer vorher eingestellten Gutmasse selbsttätig ab. [15, 112]

Bankplatte – *großformatige Bodenplatte für Glashafenöfen.* B. werden aus tonerdereichen Rohstoffen, d. h. aus Schamotte mit 38 bis 42 % Al_2O_3 oder Schieferschamotte mit 42 bis 45 % Al_2O_3 hergestellt. Die Feuerfestigkeit muß >PK 165 liegen.

Bariumcarbonat (Witherit, γ-$BaCO_3$) – meist synthetisch aus Schwerspat gewonnen. (s. Bild)



Elektronenmikroskopische Aufnahme von $BaCO_3$

Kristallographie: orthorhombisch (pseudohexagonale Formen)

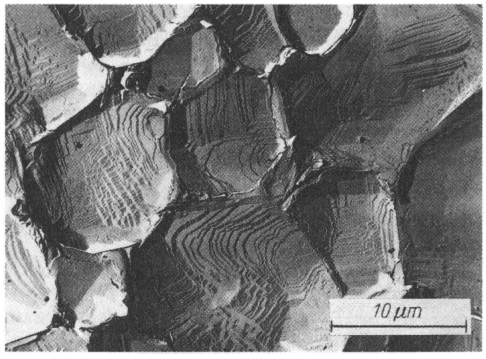
Physikalische Eigenschaften: farblos oder weiß; $H = 3$ bis 3,5; $D = 4{,}2$ bis 4,4 g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}529$, $n_\beta = 1{,}676$, $n_\gamma = 1{,}677$, $\Delta n = -0{,}148$; $2V = 16°$; Umwandlung bei 811 °C in hex. β-$BaCO_3$, bei 982 °C in kub. α-$BaCO_3$; Dissoziation bei 1 450 °C, das resultierende BaO schmilzt bei ≈1 920 °C.

B. geht mit Silicaten zunächst schwer in Reaktion, wirkt dann jedoch als energisches Flußmittel. Es wird sowohl Glasuren als auch Porzellanmassen zugesetzt (Bariumporzellan), verbessert die Trans-

parenz, verursacht hohe Schwindung und neigt zur Blasenbildung.
s. Steatit

Bariumporzellan – *Porzellanart, bei der die K_2O-Na_2O-Flußmittelkomponente weitgehend durch BaO ersetzt ist.* B. wird in der Hauptsache als Trägerporzellan für Graphitwiderstände verwendet. Die in der Glasphase eingebundenen Ba-Ionen sind im Gegensatz zu den K-Na-Ionen bei den Betriebstemperaturen der Graphitwiderstände nicht zur elektrolytischen Leitfähigkeit befähigt und vermindern deshalb nicht deren Gleichstromfestigkeit.

Bariumtitanat ($BaTiO_3$) – *ein Werkstoff, der sich durch zahlreiche elektrotechnische Anwendungen auszeichnet, nach der keramischen Technologie aus TiO_2 und $BaCO_3$ gewonnen wird.* (s. Bild)



Elektronenmikroskopische Aufnahme von $BaTiO_3$ (KER 350)

Die Reinheit der Rohstoffe, Verarbeitung, Sinterbedingungen und das daraus resultierende Mikrogefüge üben einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften aus.

Bei der Sinterung des B. unterscheidet man:
- normales oder kontinuierliches Wachstum: die Korngrößenverteilung wird fortschreitend zu größeren Korndurchmessern verschoben,
- anomales oder diskontinuierliches Wachstum: wenige Körner wachsen sehr stark, andere verharren im Ausgangszustand, bis sie von den großen aufgezehrt werden; diese Form wird durch Zwillingsbildung initiiert.

B. kristallisiert nach der Perowskitstruktur*:
oberhalb 118 °C kubisch,
118 bis 0 °C tetragonal verzerrt mit $c/a = 1{,}01$,
0 bis −90 °C orthorhombisch,
bei noch tieferen Temperaturen trigonal.

Diese Umwandlungen sind mit Hystereseerscheinungen verbunden.

B. ist der bekannteste Vertreter der Ferroelektrika*, es wird als Dielektrikum in keramischen Kondensatoren/Vielschichtkondensatoren eingesetzt, seine Sperrschichteffekte an den Korngrenzen werden in Sperrschichtkondensatoren und keramischen Halbleitern* genutzt, und schließlich ist es für piezoelektrische* Keramiken prädestiniert. Durch Dotierungen und Mischkristallbildung mit anderen Titanaten (Pb, Ca, Mg) und Stannaten, Zirconaten u. a. können die physikalischen Eigenschaften variiert werden. [144, 239, 240]

Baryt – *s.* Schwerspat

Barytglasur – *bariumoxidhaltige Glasur*.* Bariumoxid selbst färbt Glasuren nicht, es beeinflußt aber die Farbtönungen der Farboxide sehr nachhaltig (so z. B. steigt die Violettstichigkeit der Cobaltfarbe mit steigendem BaO-Gehalt), erhöht die Härte, mindert die chemische Resistenz, begünstigt jedoch die Kristallbildung. BaO wird meist durch $BaCO_3$ eingeführt, da jedoch $BaCO_3$ erst bei relativ hohen Temperaturen und sehr langsam dissoziiert, ist es zweckmäßig, gleichzeitig Alkalioxide und Erdalkalioxide mit einzuführen. *Lehnhäuser* gibt für eine Temperatur von 970 °C folgende *Seger*formel an:

0,25 K_2O	0,25 Al_2O_3	2,2 SiO_2
0,45 Na_2O		0,5 B_2O_3
0,50 BaO		

(Hiervon muß außer 0,05 Al_2O_3 und 1,0 SiO_2 alles gefrittet werden.)

B. sind gegen Ofengase (v. a. SO_2) empfindlich, neigen zu matten und krustigen Abscheidungen. BaO wirkt toxisch. B. werden für Gebrauchskeramik selten eingesetzt; sie dienen häufiger als Basis für Kristallglasuren. [100, 164]

Basalt – *dunkles Ergußgestein, das sich aus Augit als Hauptbestandteil, Feldspat, Olivin, Nephelin u. a. Nebenbestandteilen zusammensetzt.* Die verschiedenen Arten sind nur mikroskopisch unterscheidbar. Grob werden B. in Feldspat- und Alkali-B. eingeteilt. B. wird als Straßenbaumaterial verwendet. In sog. Ölöfen wird geschmolzener B. zu besonders säurefesten Platten oder ff. Isolierfasern verarbeitet. Gelegentlich wird B. auch als Flußmittel keramischen Massen und sog. Mattglasuren* zugesetzt. Auf der Basis von B. werden in neuerer Zeit auch Gesteinsvitrokeramiken (Petrositalle) hergestellt. [100, 558]

Basalzement – feinkristalline, durch einen geringen Tongehalt getrübte Kittmasse in Zementquarziten.

Basenaustausch – *s.* Ionenaustausch

Bauernkeramik – *volkstümliche Keramik*, gekennzeichnet durch eigenwillige Formen und farbenfreudige Dekore mit ornamentalen Gestaltungen aus der Pflanzen- und Tierwelt, mit Darstellungen von Trink-, Jagd- und Kriegsszenen, Handwerksemblemen, Zunftwappen u. a. m.

Baufehler, atomarer – *s.* Fehlordnung

Baufehler, mechanischer – *Unregelmäßigkeit im Kristallgitter*, wie

1) Einschlüsse anderer Phasen. Einschlüsse von Lösungsmitteln, innere Hohlräume, Bereiche kristallfremder Substanzen,

2) Risse und Versetzungen, die bei mechanischer Beanspruchung der Kristalle entstehen,

3) äußere Oberflächen; die Atome der Oberfläche sind nicht allseitig den Gitterkräften ausgesetzt, daher ist die Gitterkonstante senkrecht zur Oberfläche verkürzt,

4) Mosaiktextur; nach etwa 1000 Gitterebenen tritt häufig eine Kippung ein, dadurch wird der Kristall in kleine Blöcke von etwa 10^{-5} cm Kantenlänge zerlegt.

B. wirken als Mikrokerben und vermindern allgemein die Festigkeit der Werkstoffe.

Baukeramik – *beim Außen- und Innenbau verwendete Teile aus Keramik*, wie Mauer- und Dekkensteine, Fassadenplatten und -formteile, Dachziegel, Verblender, Terrakotten, Kacheln, Fliesen u. a. Die Anwendung reicht vom reinen Zweckbau (Backsteine) bis zur ornamentalen Gestaltung. Die Erzeugnisse der B. kommen sowohl aus der Grob- als auch aus der Feinkeramik; sie können glasiert und unglasiert, naturfarben oder gefärbt sein.

Bauxit – vorwiegend aus Tonerdehydraten bestehendes Verwitterungsprodukt.

Chemische Zusammensetzung: Al_2O_3: 50 bis 70%, SiO_2: 2 bis 45%, Fe_2O_3: 0 bis 25%, TiO_2: 3 bis 12%, H_2O: 10 bis 40%.

Weißer B. mit 2% Fe_2O_3 schmilzt bei etwa 1800 °C. Als Rohstoff für ff. Erzeugnisse soll der Eisenoxidanteil 4% nicht überschreiten; der Kieselsäureanteil soll ebenfalls gering sein. Die auf der Basis von B.-Schamotte, Roh.-B., Kaolin und Ton hergestellten B.-Steine können bis etwa 1750 °C eingesetzt werden.

Vorkommen: Südfrankreich, Italien, Jugoslawien, VR Ungarn, VR Rumänien.

Bauxit-Erzeugnisse – *ff. Erzeugnisse auf der Basis von weißen, eisenarmen Rohbauxiten, deren Al_2O_3-Gehalte > 60% und Fe_2O_3-Gehalte < 5% sind.* Wegen der hohen Schwindung (etwa 30 Vol.-% infolge der Entwässerung der natürlichen Aluminiumhydroxide*) ist es üblich, zunächst eine Bauxitschamotte bzw. ein Sinterprodukt bei Temperaturen >1600 °C herzustellen. Die Rohschamotte wird zerkleinert, fraktioniert, mit Rohbauxit, Kaolin-Ton-Bindephase oder chemischen Bindern gemischt und verpreßt. Die geformten Stücke werden dann bei Temperaturen >1500 °C gebrannt.

Je nach Menge der Flußmittelanteile in den Rohstoffen beträgt der Glasphasenanteil im gebrannten Erzeugnis 5 bis 30%, der Korundanteil 20 bis 50% und der Mullitanteil 20 bis 80%. Habitus und Tracht des Mullits bestimmen die Einsatzmöglichkeit der B. Die Heißbiegebruchfestigkeit der B. bewegt sich je nach Sorte bei 1400 °C zwischen 4,7 und 6,8 MPa und bei 1500 °C zwischen 2,8 und 4,3 MPa.

Bechergewicht – *in der Betriebskontrolle übliches Verfahren, sich über Wägungen von Probebechern* unmittelbar nach dem Abschwinden einen Anhalt über das Scherbenbildungsvermögen* eines Schlickers in einer bestimmten Gipsform zu verschaffen.*

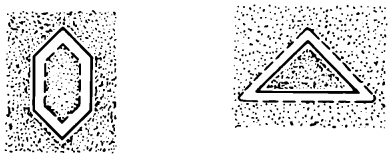
Das Gewicht bzw. die Masse eines Bechers wird beeinflußt

- von der Art des Schlickers (Massezusammensetzung*, Feinkornanteil, Wasseranteil, Verflüssigungsmittel, Thixotropieverhalten*, Temperatur u. a.),
- von der Standzeit,
- vom Saugkoeffizienten* des Gipses*, der seinerseits von der Art des Gipses, vom Gips-Wasser-Verhältnis und der Art der Aufbereitung vorbestimmt wird,
- bzw. bei Einsatz anderen Formenmaterials vom kapillaren Saugvermögen der benetzbaren Formen für den Wasseranteil des Schlickers.

[133]

Becksche Linie – *Hilfsmittel zur Bestimmung des Brechungsindexes von Pulvern.* Dazu bettet man die Probe in Flüssigkeiten mit bekannten Brechungsindizes ein. Betrachtet man das Präparat im Mikroskop bei mittlerer bis großer Vergröße-

rung, so wandert beim Heben des Tubus ein heller Streifen aus dem schwächer lichtbrechenden Stoff in den stärker lichtbrechenden hinein. Dieser helle Rand wird nach dem Entdecker B. L. genannt. Im Bild *a*) ist die Lichtbrechung des Minerals höher als die der umgebenden Flüssigkeit, und im Bild *b*) ist sie niedriger. Stimmen die Bre-

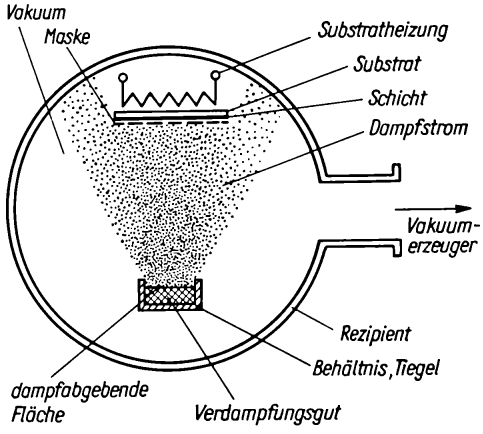


a) *b)*

*Beck*sche Linie (schematische Darstellung)

chungsindizes von Mineral und Flüssigkeit überein, verschwindet die B. L. Die B. L. wird durch konvergierende Strahlen erzeugt, die an der Grenze zweier Medien mit verschiedenem Brechungsindex bei Brechung, Totalreflexion und Beugung entstehen.

Bedampfen – *Aufbringen von metallischen Schichten auf Substrate* aus dem dampfförmigen Zustand in einem Hochvakuumsystem* (s. Bild).



Schema der Bedampfung im Hochvakuum

Das für den Prozeß erforderliche Hochvakuum ($<1{,}33 \cdot 10^{-2}$ Pa) wird innerhalb des Rezipienten mit Hilfe eines Vakuumerzeugers ständig konstant gehalten, um eine geradlinige Ausbreitung der Dampfteilchen zu gewährleisten. Durch geeignete Beheizung wird das Verdampfungsgut auf die erforderliche Temperatur gebracht. Das Ergebnis der Verdampfung ist ein Dampfstrom, in welchen man die zu bedampfenden Substrate bringt. Dampfstromdichte sowie Anordnung von Verdampfer und Substraten im Rezipienten bestimmen die Schichtdicken auf den Substraten. Die Kondensationsbedingungen auf den Substraten, besonders ihre Oberflächenbeschaffenheit und Temperatur, haben wesentlichen Einfluß auf die Struktur der Schicht und ihre Eigenschaften. Am Vorgang sind außer den Dampfteilchen auch Moleküle/Dämpfe der Restgasatmosphäre beteiligt, was zu störenden Einlagerungen und unerwünschten Reaktionen führt.

Durch den Einsatz von Meß- und Regeleinrichtungen werden die wesentlichen Parameter des Bedampfungsprozesses innerhalb der erforderlichen Toleranzen gesichert.

Begehungskanal – *mannshoher Gang in Tunnelöfen unterhalb des Wagenzuges.* Er dient zu Kontrollgängen, zum Beseitigen von Wageneinstürzen, zum Messen der Temperaturverteilung und der Brennatmosphäre über Länge und Querschnitt des Tunnelofens.

Begießen – *Glasieren von keramischen Gegenständen durch Übergießen mit Glasurbrei.* So läßt man z. B. Glasurschlicker über schräg gehaltene Kacheln laufen. Der poröse Scherben saugt das Wasser aus dem Schlicker an, so daß sich die festen Bestandteile in einer dünnen gleichmäßigen Schicht auf der Oberfläche ablagern, um dann im Brand zur abdichtenden, glänzenden Glasur auszufließen.

Begießtone – *sehr feinkörnige Tone verschiedener Brennfarbe,* die zur Herstellung ungeschmolzener weißer oder farbiger Überzüge auf keramischen Erzeugnissen dienen. Der geformte Grundscherben wird mit Masse begossen oder in den Schlikker eingetaucht.

s. Engobe

Behauten – *Auftragen einer bildsamen Masse (Behautmasse) als Deckschicht auf die Arbeitsmasse.* Behaut- und Arbeitsmasse müssen im Ausdehnungskoeffizienten übereinstimmen, um Risse beim Trocknen und Brennen zu vermeiden. Einen weißen Farbton kann man bei Behaut- und Begußmassen durch Bläuen oder entsprechende weißbrennende Tone erzielen.

s. Engobe

Beheizung – *in Abhängigkeit von der stofflichen Zusammensetzung und den angestrebten Gebrauchsei-*

genschaften einzuschlagender Weg zur Erwärmung des Sintergutes.

In brennstoffbeheizten Öfen wird unterschieden:

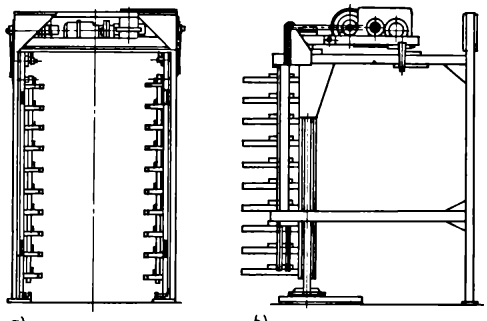
- *unmittelbare B.*; es handelt sich hierbei um eine Wärmeübertragung* zwischen Gasen, Wänden, innerer Rekuperation und Sintergut,
- *mittelbare B.*; sie wird dann angewandt, wenn das Sintergut nicht direkt mit den Verbrennungsgasen* in Berührung kommen darf. Das Sintergut wird dann gekapselt, durch feuerfeste Baustoffe vor den Verbrennungsgasen geschützt, oder die Öfen werden gemuffelt (Muffelöfen*).

Nach der Art der Wärmeerzeugung kann die B. erfolgen durch Verbrennungsgase*, durch elektrische Widerstände*, mit Hilfe von Strahlungserzeugern* (Infrarot*, Lichtbogen, Plasma*), induktiv, dielektrisch u. a.

Beidellit – *Tonmineral der Montmoringruppe* mit der Formel $Al_2[(OH)_2/Al_{0,5}Si_{3,5}O_{10}] \cdot Na_{0,5} \cdot nH_2O$. Es enthält fast immer geringe Mengen an Fe_2O_3, CaO, K_2O, MgO, NiO und MnO.

s. Montmoringruppe

Belade- und Entlademaschine – *in der Ziegelindustrie verwendete Einrichtung zum Be- und Entladen von Doppelstoßabsetz- oder Gerüstwagen* (s. Bild). Als Belademaschine muß das Gerät die



a) *b)*

Be- und Entlademaschine
a) Vorderansicht *b)* Seitenansicht

in den Senkrechtförderer eingesetzten und mit frischen Formlingen besetzten Formlingsträger für die Aufnahme durch Doppelstoßabsetzwagen oder Gerüstwagen bereitstellen und die Beladung dieser Fördergeräte durchführen. Als Entlademaschine hat sie die trockenen Formlinge wieder zu entnehmen. Der Einsatz der B. ist nur in Verbindung mit einem Senkrechtförderer möglich.

Belag – *milchig-weiße, stumpfe, dünne Schicht auf glattgebrannten Erzeugnissen,* die sich meist leicht entfernen läßt, aber auch widerstandsfähiger sein kann. Ränder und Kanten können bei bräunlichen Verfärbungen auch B. zeigen, dessen Ursache in die Kühlzone gelangte und dort kondensierte Rauchgase sein können. B. kann auch entstehen, wenn beim Dekorbrand sehr unterschiedliche Malpräparate zusammen gebrannt werden, z. B. Glanzgold und Lüster.

Belegen – *Anbringen von Rosen, Blättern, Schleifen u. ä. bei Ziergegenständen, besonders bei Figurenporzellan.* Diese kleinen Teilchen werden im einzelnen aus einer mit Dextrin oder Gummilösung versetzten bildsamen Masse mit Hilfe von Stäbchen in Gipsformen oder in der hohlen Hand geformt und schließlich mit Garnierschlicker befestigt.

Benetzen – *Ausbreiten einer Flüssigkeit auf einem Festkörper.* Man unterscheidet (s. Bild S. 44): nichtbenetzend, benetzend und spreitend.

Im dargestellten System liegen mehrere Oberflächen*- bzw. Grenzflächenenergien* nebeneinander vor.

Für den Randwinkel φ (auch Kontaktwinkel genannt) gilt für den Zustand minimaler Energie die *Young*sche Beziehung:

$$\gamma_{sl} - \gamma_{sv} + \gamma_{lv} \cos \varphi = 0$$

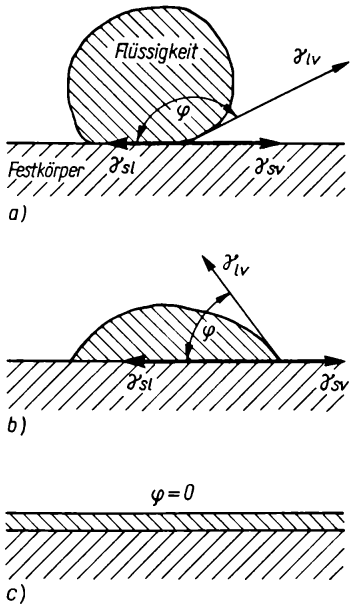
bzw.

$$\cos \varphi = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}}.$$

Der Randwinkel φ läßt sich im allg. nicht voraussagen; er muß durch Experiment bestimmt werden. Voraussetzung für B. ist $\gamma_{sv} > \gamma_{sl}$; das ist dann der Fall, wenn die Grenzflächenenergie γ_{sl} gering ist. Dies ist immer dann zu erwarten, wenn die Bindungsarten der beiden Partner verwandt sind, z. B. zeigen Silicatschmelzen auf Oxiden nur einen kleinen Randwinkel bzw. Spreiten (vollständige Benetzung). Umgekehrt, bei geringer Verwandtschaft, ist die Grenzflächenenergie groß, d. h., bei $\gamma_{sv} < \gamma_{sl}$ wird der Randwinkel $\varphi > 90°$. Dieses Verhalten zeigen z. B. Metallschmelzen meist auf oxidischen Unterlagen.

[15, 144, 150, 168]

Bentonit – *lockeres, durch Zersetzung von vulkanischen Aschen oder glasig erstarrten Gesteinen entstandenes Tongestein.* B. enthält neben wenig Quarz



Benetzungsverhalten von Flüssigkeiten auf Festkörpern
a) nicht benetzend ($\varphi > 90°$)
b) benetzend ($\varphi < 90°$)
c) spreitend
s fest
l flüssig
v gasförmig
γ_{lv} Oberflächenenergie der Flüssigkeit gegenüber der eigenen Dampfphase
γ_{sv} Oberflächenenergie des Festkörpers gegen die Atmosphäre
γ_{sl} Grenzflächenenergie des Festkörpers gegen die Flüssigkeit

vor allem Montmorillonit. Zusätze von wenigen Prozent zu keramischen Massen verbessern deren Bildsamkeit.

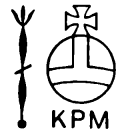
Bergkristall – *wasserklare, durchsichtige Varietät des Quarzes*, bildet schöne Kristallindividuen (Einzelstücke bis zu mehreren Tonnen, s. Bild). Nach der Lage der Flächen des trigonalen Trapezoeders und der Doppelpyramide unterscheidet man Rechts- und Linksquarz. Nicht verzwillingter B. ist pyro- und piezoelektrisch.
s. System SiO_2

Berliner Kachel – früherer Kacheltyp, der unter Verwendung stark kalkhaltiger Tone unter Zusatz von feinem Sand hergestellt und mit bleihaltiger, mit Zinnäscher bzw. Zinnoxid (9 bis 15 %) getrübter gefritteter Glasur versehen wurde.

Berliner Porzellanmanufaktur – *mit der Geschichte Preußens eng verknüpfte Porzellan-Manufaktur.* 1751 Erstgründung durch *Wilhelm Caspar Wegely.* Geschirre dieser Zeit waren eher steif und hart, dagegen die Figuren von natürlichem Charme. Nach sechs Jahren bewirkten finanzielle Schwierigkeiten die Einstellung der Produktion.
1761 erfolgte die Gründung der »Aechten Porcellain Fabrique zu Berlin« durch *Johann Ernst Gotzkowsky.* Ihm gelang es, eine Reihe von Porzellankünstlern aus der Meissener Porzellanmanufaktur* nach Berlin zu holen. Doch nur zwei Jahre wurden Porzellane mit dem blauen »G« in Unterglasur hergestellt, die heute bei Sammlern als Raritäten geschätzt sind. Auch *Gotzkowsky* geriet in finanzielle Nöte, und so übernahm Friedrich II. lt. Kabinettsorder vom 19. September 1763 die Manufaktur, die damit zur »Königlichen Porzellan-Manufaktur« KPM wurde. Das preußische Staatswesen war von ökonomischem Zuschnitt geprägt, Handelsbilanz und Steueraufkommen nur durch Arbeit und Umsatz zu beeinflussen. Bodenschätze hatte das Land nicht. So sah Friedrich II. die Manufaktur und ihre Erzeugnisse weniger als Prestigeobjekt, sondern als wirtschaftliches Unternehmen, dessen Absatz er zu sichern wußte. Er analysierte den Markt und den Zeitgeschmack. Er wählte die blaue Zeptermarke. Er verbot die Einfuhr fremder Porzellane und zwang seine Unterta-

Bergkristall vom Schneckenstein (Sachs.) (Aufnahme: *D. Sperrhake*, Hermdorf)

nen, Berliner Porzellan zu kaufen. Er zahlte zum vollen Fabrikpreis, wie jeder andere Kunde, die Service, die er für seine Schlösser Charlottenburg, Potsdam, Neues Palais und Sanssouci bestellte.
Durch ihre Geschirrproduktion und die hervorragende Malerei (»Berliner Blumen«) erreichte die KPM ihre erste Blütezeit. So entstanden unterschiedliche Service mit vielen Sonderformen, wie kunstvolle Korbschalen und eine Reihe von Porzellanplastiken. Besonders erwähnenswert ist die Büste von Friedrich II. in weißem Biskuit (1778) von *Friedrich Elias Meyer*. Nach dem Tod Friedrichs II. wurde die Manufaktur 1789 ein Betrieb des preußischen Staates, und damit bestimmte eine Regierungskommission ihre Geschicke.
Die hohe Zeit der Porzellan-Malerei der KPM datierte im 19. Jahrhundert. Nach Entwürfen von *Karl Friedrich Schinkel* entstand das Service »Campaner«. Es war das wohl reizvollste Service des 19. Jahrhunderts: in Weiß, mit Goldrand oder gelbem Fond und Blumen-Medaillons (»Königin Luise«). Das umfangreichste und teuerste Ensemble dieser Zeit war das Geschenk-Service für den Herzog von Wellington mit einem vielfigurigen Tafelaufsatz von *Gottfried Schadow* und 64 Tellern mit Ansichten von Orten, die im Leben des Herzogs eine Rolle spielten. Daneben entstanden zahlreiche Malereien mit naturgetreuen Abbildern von Straßen, Bauten und Kirchen Berlins auf Prunkamphoren und Kratervasen.
Im Werkstoff Porzellan erfuhr die KPM Aufschwung durch die Erfindung des Weichporzellans*, des sog. *Seger*-Porzellans, benannt nach dem genialen Chemiker Professor *Hermann Seger**.
Ende 1918 wurde die Manufaktur in »Staatliche Porzellan-Manufaktur Berlin« umbenannt; die bekannte Marke KPM behielt man jedoch bei.
Von Arbeiten unseres Jahrhunderts sind besonders die Geschirre »Halle« von *Marguerite Friedländer* und »Urbino« (1930) von *Trude Petri-Raben* sowie das »Feldblumenrelief auf Bord« (1940) von *Trude Petri* und *Gerhard Gollwitzer*, bei dem die »Berliner Blumen« nicht gemalt, sondern als feines Relief geprägt sind, anzuführen.
Der Zweite Weltkrieg mit seinen Zerstörungen unterbrach die Geschichte der Manufaktur abrupt. Doch mit dem Fundus der Vergangenheit – es gelang, den unersetzlichen Formenschatz zu retten –, der Vervollkommnung der Technik, mit neuen Modellen und Formen und der manuellen Fertigkeit ihrer Mitarbeiter gelang es der KPM, sich wieder unter die führenden Traditions-Porzellan-Manufakturen Europas einzuordnen.
Zum 1. Juli 1988 wurde die Manufaktur aus dem »Staatsmonopol« entlassen, und das Land Berlin erhielt alle Besitzanteile. Damit wurde aus der »Staatlichen Porzellan-Manufaktur Berlin« KPM wieder eine KPM – »Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin« (GmbH), s. Porzellanmarke der KPM.



Porzellanmarke der Berliner Porzellanmanufaktur

Berstprüfung – *s.* Innendruckprüfung

Beryll ($Al_2Be_3[Si_6O_{18}]$; griech: beryllos = Brille; im Mittelalter wurde das Mineral zur Herstellung von Brillengläsern verwendet).
Kristallographie: hexagonal
Physikalische Eigenschaften: gelblichgrün, rosa; $H = 7{,}5$ bis 8; $D = 2{,}63$ bis 2,91 g cm^{-3}; $n_\omega = 1{,}568$ bis 1,602, $n_\varepsilon = 1{,}564$ bis 1,595; spröde*.
Farbvarietäten: Smaragd (tiefgrün), Aquamarin (durchsichtig himmelblau), Heliodor (durchsichtig gelb).
Für die Be-Gewinnung wichtigstes Erz.
Vorkommen: UdSSR (Ural), Indien, Südafrika, Brasilien
[8]

Berylliumoxid (BeO, Süßerde) – *lockeres weißes Pulver*, synthetisch aus berylliumhaltigen Mineralen (z. B. Beryll*) gewonnen.
Einige physikalische Eigenschaften: Schmelzpunkt: 2 570 °C; Siedepunkt: 4 000 °C; $D_{theor.} = 3{,}01$ g cm^{-3}, (weitere Eigenschaften s. Tabelle).

Charakteristische Eigenschaften repräsentativer BeO-Pulver (nach *F. Kerbe*)

Parameter	UOX	CF-BeO-2	Acetat, gereinigt
BeO-Gehalt in %	99,85	99	99,5...99,8
Schwefel-Gehalt in ppm	800...1 500	1 000	
Klopfdichte in g cm^{-3}	0,35	0,35...0,50	0,1...0,15
spezifische Oberfläche in m^2 g^{-1}	9...12	19	–
mittlere Kristallitgröße in nm	180...200	500	500

B. ist ein schweres Atemgift, seine Verarbeitung muß unter Containments erfolgen. [241, 242]

Berylliumoxid-Keramik – *Werkstoffgruppe, die sich durch eine extrem hohe Wärmeleitfähigkeit, kombiniert mit einem hohen elektrischen Isolationswiderstand und äußerst geringen dielektrischen Verlusten, auszeichnet.* B. K. wird herangezogen für Substrate und Gehäuse der Leistungs- und HF-Elektronik, außerdem zeichnet sich ein Trend zur Applikation für die Hybridmikroelektronik ab (Multichiptechnik, Chip-Carrier-Gehäuse in Mehrschichtkeramiken u. a.). Weitere Einsatzgebiete dieses Werkstoffes sind aufgrund guter Moderatoreigenschaften die Kerntechnik und dank seines hohen Schmelzpunktes und einer guten Korrosionsbeständigkeit Schmelztiegel für Sonderzwecke.

Aus diesen Einsatzgebieten resultieren Qualitätsanforderungen an den Werkstoff, wie hohe Sinterdichte*, optimiertes Gefüge*, hohe Reinheit (≈99,5 %). Für die Gesamttechnologie gilt aufgrund der Toxizität des Be und seiner Verbindungen die Einhaltung eines begrenzten Kurzzeitkonzentrationswertes (MAK) in der Raumluft, so daß alle mit Entstehung von Stäuben und Dämpfen verbundenen Prozeßschritte unter Containments oder entsprechenden Absaugungen durchzuführen sind.

Die Sintertemperatur liegt zwischen 1 500 und 1 700 °C. Eine mechanische Nachbearbeitung ist durch Schleifen, Läppen, Polieren im gesinterten Zustand möglich. Durch Dotierungen (0,01 bis 1,0 Masse-%) bestimmter farbloser Metalloxide (Li, Mg, Ca, Sr, La u. a.), die ein gleichmäßiges Verdichten und Kornwachstum fördern, kann transparente Keramik hergestellt werden (s. Tabelle). Die Kennwerte wurden aus Katalogmaterial der Firmen »Ceramic Products«, Ohio, USA und »Beryllia Ceramics« NGK Insulators, LTD, Nagoya, Japan zusammengestellt.

Besatz – *Masse des auf einen Tunnelofenwagen gesetzten Brenngutes.* Üblicherweise wird unterschieden:

1) Bruttobesatzdichte als Quotient von Gesamtmasse je Wagen und Bruttobrennraum je Wagen in kg m^{-3} und

2) Nettobesatzdichte als Quotient von Nettomasse (Brenngut) je Wagen und Bruttobrennraum je Wagen in kg m^{-3}.

Allgemein gibt die Besatzdichte Auskunft darüber, ob dichter oder lockerer B. vorliegt.

Besatzsteine – Viellochsteine der Gitterung in Winderhitzern von Hochöfen und Gittersteine in Regenerativkammern von Siemens-Martin- und Glasschmelzöfen.

Beschichten – *Aufbringen einer festhaftenden Schicht aus formlosem Verarbeitungsgut auf ein geformtes Werkstück, Substrat* genannt.* Danach ist jedes zusammenhängende Aufbringen eines formlosen Verarbeitungsgutes mit relativ hoher innerer Festigkeit und ausreichender Haftfestigkeit gegenüber dem Substrat unter B. einzuordnen. Das Substrat selbst kann unmittelbar am Beschichtungsvorgang beteiligt sein. Das B. dient folgenden Zielen:

- Erzeugung und Beeinflussung elektrischer und magnetischer Eigenschaften,
- Erhöhung des Widerstandes gegen Korrosion, Erosion, Kavitation, mechanischen Abrieb,
- Beeinflussung der Wärmeleitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit,
- Erzeugung einer dekorativen Wirkung im weitesten Sinne.

Durch die rasche Entwicklung der Technik, im besonderen der Mikroelektronik, werden hohe Anforderungen an die Qualität der aufgebrachten Schichten in bezug auf Gleichmäßigkeit der Schichtdicke, Sauberkeit der Schichten, Kanten-

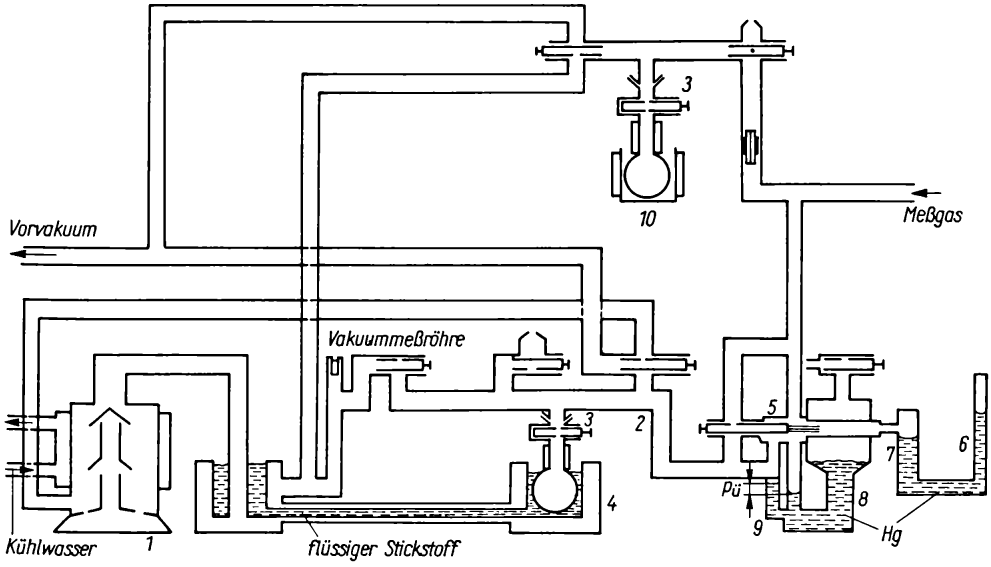
Charakteristische Werkstoffwerte von BeO-Keramik

Parameter	Werkstoffbezeichnung		
	Thermalox 995	K-95	K-995
BeO-Gehalt in %	99,5	95	99,5
Sinterdichte in % der theoretischen Dichte	95	90	97
Wärmeleitfähigkeit in W m^{-1} K^{-1}	218	201	255
lineare Wärmedehnung (25 bis 150 °C) in 10^{-6} K^{-1}	–	5,4	4,4
Volumenwiderstand bei 20 °C in Ωcm	10^{14}	10^{15}	10^{15}
Dielektrizitäts-Verlustfaktor bei			
1 MHz	6,4	6,5	7,1
10 MHz	$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
100 MHz	–	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

schärfe, Vermeiden von mikroskopischen Verletzungen der Schichten u. a. gestellt.
Folgende Technologien kommen zur Anwendung:
- Bedampfen* im Hochvakuum,
- Sputtern*,
- thermische Dampfphasenzersetzung (CVD)*,
- chemische Modifizierung* der Oberfläche,
- Dünn- und Dickschichttechnik*,
- Metallisierung*/Galvanisieren*,
- Flammspritzen*/Plasmaspritzen*,
- Dekoration*,
- Emaillieren*.

Beschicker – *Geräte zum kontinuierlichen, dosierten Zuführen von Schüttgütern,* wie Sand, Schamotte, Rohton, Zuschlägen in nachgeschaltete Aufbereitungsmaschinen, wobei sie einen diskontinuierlichen Mengenstrom in einen kontinuierlichen umwandeln und somit als Puffer wirken.
s. Kastenbeschicker, Rundbeschicker, Dosierung

Beständigkeit, chemische – *Widerstandsfähigkeit (Resistenz) gegen aggressive Medien.* Im allgemeinen weisen keramische Erzeugnisse eine gute ch. B. auf. Soweit die Werkstoffe eine Glasphase enthalten, kann ein Angriff nach folgenden Mechanismen ablaufen:
1) Im saueren Medium diffundieren Netzwerkwandler aus der Glasphase von Oberflächen heraus und Protonen (H^+) oder hydratisierte Protonen (H_3O^+) hinein. Anders wirkt Flußsäure, sie greift sämtliche Silicatgläser stark und kristallisierte Silicate mehr oder weniger stark an unter Bildung von SiF_4.
2) Im alkalischen Medium brechen die OH-Ionen die Si-O-Si-Bindung auf, so daß es zur Auflösung der Glasphase kommt. Oberflächenrisse begünstigen diesen Vorgang; Temperatur und Zeit spielen eine wichtige Rolle.
Bei Glasuren nimmt die ch. B. mit steigender Glattbrandtemperatur und/oder steigendem Gehalt an Netzwerkbildnern zu, umgekehrt nimmt die ch. B. mit steigendem Gehalt an Netzwerkwandlern ab.
Zur Prüfung der ch. B. haben sich verschiedene Verfahren eingeführt. Eine direkte Aussage wird durch 24-h-Kochen in sauren und alkalischen Lösungen getroffen. Der eingetretene Masseverlust in mg dm^{-2} ist ein Maß für die ch. B.
Bei glasierten Fliesen und Platten wird die sicht-



Prinzipskizze der Meßeinheit der BET
1 Hochvakuumanlage
2 Meßkreis
3 Probekolben
4 Dewargefäß
5 Kapillare
6 Meßmanometer
7 Abgabedruckregler
8 Staurohr
9 Druckrohr
10 Ausheizkreis

bare Einwirkung, der Glanzverlust und der Grad der Annahme von Bleistiftstrichen nach der Behandlung mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten beurteilt. [100, 133, 164]

s. Bleilässigkeit, Schadstoffabgabe, Korrosion, Glas

BET-Verfahren – *ein von Brunauer, Emmett und Teller konzipiertes Verfahren zur Bestimmung der Gesamtoberfläche (innere und äußere) von Pulvern mittels einer Tieftemperatur-Stickstoff-Adsorption** (s. Bild S. 47).

Das BET-Verfahren geht davon aus, daß die zu untersuchenden Stoffe bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffs an ihrer Oberfläche gasförmigen Stickstoff in mehreren Schichten adsorbieren. Dabei ist die adsorbierte Gasmenge abhängig vom Gleichgewichtsdruck p des Stickstoffs. Für den Fall, daß der Gleichgewichtsdruck p des Stickstoffs 30 % des Sättigungsdrucks p_0 des flüssigen Stickstoffs nicht übersteigt, haben *Brunauer*, *Emmett* und *Teller* eine Gleichung für die adsorbierte Gasmenge in Abhängigkeit von dem Gleichgewichtsdruck p bei konstanter Temperatur angegeben. Aus dieser läßt sich die adsorbierte Stickstoffmenge für eine einmolekulare Belegung der Oberfläche mit Stickstoff ermitteln:

$$\frac{p}{y(p_0 - p)} = \frac{1}{y_m C} + \frac{(C-1)p}{y_m C p_0}$$

y adsorbierte Stickstoffmenge (in Mol/g Adsorbens)
p Gleichgewichtsdruck des Stickstoffs
p_0 Sättigungsdruck des flüssigen Stickstoffs (p_0 = f[Temp.])
y_m adsorbierte Stickstoffmenge bei einer einmolekularen Belegung der Oberfläche (Monoschichtkapazität) (in Mol/g Adsorbens)
C Konstante der BET-Isotherme.

Stellt man den linken Teil der Gleichung als Funktion von p/p_0 in einem Diagramm dar, so erhält man in dem Bereich für p zwischen 0,05 bis 0,3 p_0 eine Gerade, aus deren Steigung und Achsenabschnitt sich die Monoschichtkapazität y_m errechnen läßt. Dafür ist es notwendig, bei verschiedenen Gleichgewichtsdrücken die entsprechende Gasmenge zu bestimmen. Bei der vereinfachten Methode zur Messung von Oberflächengrößen durch Gasadsorption nach *Haul* und *Dümbgen* wird von der vereinfachten Annahme ausgegangen, daß die Adsorptionsisotherme in der BET-Darstellung

$$\frac{p}{y(p_0 - p)} = f\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

durch den Koordinatenursprung geht. Danach muß die Konstante $C \gg 1$ werden, und die BET-Gleichung vereinfacht sich zu

$$y_m = \frac{y(p_0 - p)}{p_0}.$$

Es ist hierbei die adsorbierte N_2-Menge nur noch bei Gleichgewichtsdruck zu bestimmen, um die BET-Isotherme aufstellen zu können, da der Koordinatenursprung als Meßpunkt angesehen wird. Der dadurch bedingte Meßfehler liegt meist unter 10 %. Aus y_m läßt sich die spezifische Oberfläche S berechnen nach

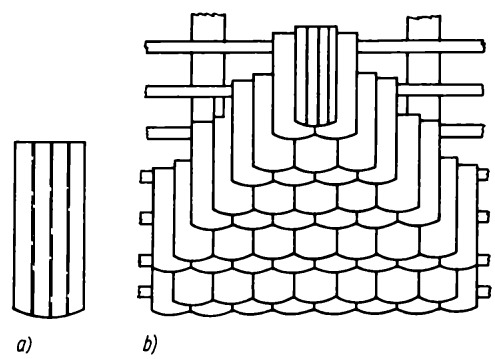
$$S = \frac{y_m}{M} N_L A$$

M Molekularmasse des adsorbierten Gases
A Flächenbedarf eines Moleküls des adsorbierten Stickstoffs ($16{,}2 \cdot 10^{-20}\,m^2$)
L *Loschmidt*sche Zahl ($6{,}02 \cdot 10^{23}$).

Außer der Tatsache, daß nur ein Meßpunkt von der BET-Adsorptionsisotherme zu bestimmen ist, bietet das vereinfachte Verfahren nach *Haul* und *Dümbgen* noch folgenden meßtechnischen Vorteil: Die zu untersuchende Probe wird keinem Hochvakuum ausgesetzt, sondern wird getrennt von der eigentlichen Meßapparatur in einem Ausheizthermostaten durch Überleiten eines Stickstoffstromes von Feuchtigkeit und adsorbierter Gasmenge befreit. [125, 140, 141]

s. Areameter

Biberschwanz – Dachziegel einfachster Form (s. Bild).



a) Biberschwanz
b) Eindeckung eines Daches mit Biberschwänzen

Biegeerweichung – *Deformation eines Werkstückes bei höheren Temperaturen.* Keramische Erzeugnisse, die bei höheren Temperaturen mechanisch beansprucht werden, z.T. allein schon durch die Eigenmasse, zeigen, bevor sie zu Bruch gehen, eine Durchbiegung. Die Ursache liegt, soweit die Werkstoffe eine Glasphase enthalten, in der Eigenart dieser Komponente (Viskosität). Bei reinkristallinen Werkstoffen liegen die Gründe im Kriechen, d. h. in einer irreversiblen Verformung.

s. Druckfeuerbeständigkeit

Biegefestigkeit – *Widerstand eines Prüfkörpers bei Belastung auf Biegung im Augenblick des Bruches.* Die B. ist neben der Druck- und Zugfestigkeit eine wesentliche Kenngröße der mechanischen Festigkeit eines Werkstoffes; sie wird beeinflußt von der chemischen Zusammensetzung und dem Gefüge*. Die Bestimmung der B. wird häufiger angewandt, weil sie bei der Prüfkörperherstellung und auch beim Prüfen selbst den geringsten Aufwand erfordert und weil sie am besten reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Im Unterschied zur Trockenbiegefestigkeit (*TBF*) wird die Biegefestigkeit am gebrannten Stück ermittelt. TGL 20470 schreibt die 3-Punkt-Prüfung vor mit einer Laststeigerungsgeschwindigkeit von 20 bis 50 N s^{-1} und einer Prüfkörperlänge von ≧120 mm für runde Prüfstäbe und ≧150 mm für rechteckige bzw. quadratische Prüfstäbe. Für die Berechnung der B. gilt:

$$\sigma_{bB1} = \frac{8\,F\,l}{\pi\,d^3}$$ (in Pa) für runde Prüfstäbe

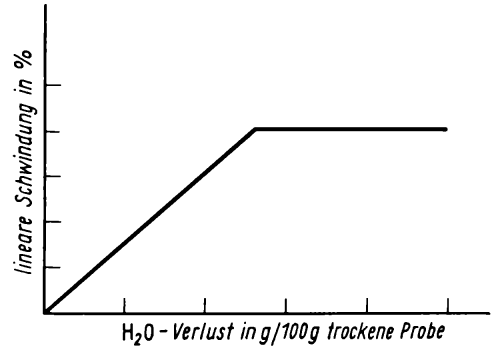
$$\sigma_{bB3} = \frac{1{,}5\,F\,l}{b\,h^2}$$ (in Pa) für quadratische bzw. rechteckige Prüfstäbe

F Bruchkraft (in N)
l Abstand zwischen den Biegeauflegern (in m)
d Durchmesser des Prüfkörpers (in m)
h Höhe des Prüfkörpers (in m)
b Breite des Prüfkörpers (in m).

Die hieraus erhaltenen Werte stellen Kurzzeitwerte dar, Langzeitwerte liegen um ein beträchtliches tiefer. Bei der nichtstandardisierten 4-Punkt-Prüfung liegt zwischen den beiden inneren Belastungspunkten ein konstantes Biegemoment vor, d. h., es ist ein größerer Volumenanteil des Prüfkörpers mechanisch hoch belastet und gibt damit die Möglichkeit, diskrete Fehlstellen in einem größeren Bereich zu erfassen. Unter diesem Gesichtspunkt ist der 4-Punkt-Prüfung der Vorzug zu geben. Nach der statistischen Festigkeitstheorie* ist die bei der 4-Punkt-Prüfung gemessene Festigkeit gesetzmäßig niedriger als bei der 3-Punkt-Prüfung. Dieser Unterschied ist werkstoffspezifisch und kann in der Größenordnung von 10 bis 20 % liegen. Schließlich gilt angenähert: Zugfestigkeit:Biegefestigkeit:Druckfestigkeit = 1:2:10.
[94]

s. Heißbiegefestigkeit

***Bigot*-Kurve** – *graphische Darstellung des Masseverlustes eines bildsamen Rohstoffes/keramische Masse (H_2O-Verlust in g/100 g trockene Probe) beim Trocknen in Abhängigkeit von der Schwindung des Formlings* (in %); sie gibt Hinweise über das Trocknungsverhalten. Zu Beginn des Trockenprozesses erfolgt im allg. die Schwindung proportional dem Masseverlust, beim weiteren Fortgang ändern sich jedoch die Abmessungen des Rohlings nicht mehr. Eine flache Steigung des Anfangsabschnitts der Kurve (s. Bild) bedeutet eine geringe Formänderung, d. h., solche Massen lassen sich leichter trocknen. Für Betriebskontrollen sind automatisch registrierende Geräte entwickelt worden.



*Bigot*kurve der Trocknung eines bildsamen Rohstoffes bzw. einer Masse (Tendenzdiagramm)

Bildsamkeit – *das Vermögen einer festen (fest im Gegensatz zu flüssig) Substanz, auf von außen wirkende Kräfte mit bleibender Formänderung zu reagieren, ohne daß dabei der Zusammenhang der die Substanz bildenden Teilchen verlorengeht.*

Diese auf *Haase* zurückgehende Definition bezieht sich auf disperse – vornehmlich tonmineralhaltige – Systeme. Ihr liegen zwei Gesichtspunkte zugrunde:

– Die Konzeption eines Anlaßwertes τ_a, d.h., bei

Anwendung eines Mindestbetrages an Schubspannung τ gleiten die Masseteilchen aneinander vorbei. Der Anlaßwert ist die Voraussetzung für eine bleibende Formänderung; andernfalls würde der Formling unter dem Eigengewicht auseinanderfließen. Dieses Gleiten ist gleichsam ein Ausdruck für die Viskosität η.

- Die Masseteilchen können sich – ohne Bruch – voneinander entfernen; diese Dislokation kann durch die Zugfestigkeit σ_Z beschrieben werden.

Daraus ergibt sich als Kennzahl für die B. der Ausdruck

$B \sim \sigma_Z/\tau$ bzw. $B \sim \sigma_Z/\eta$ (σ mechanische Festigkeit).

Die B. wird für die verschiedenen technologischen Varianten der bildsamen Formgebung* – Strangformung*, Drehformung*, Spritzformung*, Quetschformung – genutzt.

Wegen des makrorheologisch komplizierten nichtlinearen, zeitabhängigen Verhaltens ist eine direkte Messung der B. nicht möglich. So werden in der Literatur verschiedene rheologische Modelle* (*Bingham*, mehrfach *Prandtl*) genannt. Im allgemeinen sind sie sehr anschaulich, werden jedoch dem Sachverhalt nur qualitativ gerecht: sie gehen von der Erhaltung der Massehomogenität aus und berücksichtigen nicht die Rißbildung. Ähnlich verhält es sich mit mathematischen Beschreibungen, die auf der Vorgabe zyklischer Verformungsabhängigkeiten von

$\gamma = \gamma_0 \sin(\omega t)$ mit $\omega = 2\pi f$

f Kreisfrequenz
t Versuchszeit

basieren *(Moore-Hennicke)*. Diese Schwierigkeiten haben zu einer Vielzahl von Prüf- und Meßmethoden geführt. Bei der Auswahl ist darauf zu achten, ob man nur Rohstoffe miteinander vergleichen oder eine Masse für ein bestimmtes Formgebungsverfahren optimieren will. Etwas vereinfachend kann man die Beurteilungsverfahren in indirekte Methoden und Methoden einer direkten Bewertung unterteilen.

B. resultiert aus den unterschiedlichsten Beiträgen, man kann folgende Aspekte diskutieren:

1) Trockene tonmineralhaltige Massen können rheologisch nicht als bildsam bezeichnet werden; erst durch die Zugabe von Wasser wird der Zustand der B. erreicht. Im Sprachgebrauch wird überhaupt die Herausbildung der B. durch Zumischen von Wasser gemeint. Wasser besitzt gegenüber Tonmineralien und oxidischen Oberflächen eine große Adsorptionsneigung. So genügen z. B. 2 mg Wasser je g Kaolin mit einer spezifischen Oberfläche von $13\ m^2\ g^{-1}$ für eine monomolekulare Bedeckung. Dickere unorientierte Wasserschichten bedingen zusätzliche hydrostatische Kräfte, verbessern den Zusammenhalt der Teilchen durch Ausbildung neuer Haftstellen und erlauben leicht eine mechanische Verschiebung der Teilchen. Vergleichende Modellbetrachtungen von Wasserschichten von *Mostezky* zwischen Kugeln und Platten ergeben für Platten niedrigere Scherspannungen.

2) Weiterhin üben noch bestimmende Einflüsse auf die B. Teilchengröße, -oberfläche, -formen und Größenverteilung aus. So läßt sich z. B. bei einem Ton aus dem Anteil der Teilchen $<2\ \mu m$ die B. abschätzen. Nach einem Gesetz von *Coehn** erfahren feine, nichtleitende Teilchen in Flüssigkeiten eine elektrische Aufladung, und zwar lädt sich der Bestandteil mit der höheren Dielektrizitätskonstante positiv auf. In wäßriger Aufschwemmung sind danach Tonminerale negativ geladen. Außerdem kommen bei Tonmineralien außer Restvalenzen und Oberflächenlagen dissoziierbare Kationen und eine weniger intensive Anionenaktivität hinzu, d.h., man muß von einer sog. diffusen elektrischen Doppelschicht* ausgehen. Die negative Ladung der Teilchen kann sowohl für die Reinigung (Elektrophorese*) als auch für die Formgebung genutzt werden.

3) Austauschbare Kationen bewirken im allg. eine gewisse Bindung der Tonminerale an gröbere Massebestandteile (etwa Magerungsmittel), was man auch als Einbindevermögen bezeichnet. Dieses Einbindevermögen ist um so stärker ausgeprägt, je feiner die Blättchen sind. Nach *Hofmann* wird diese Fähigkeit bei mit Na-Ionen belegtem Montmorillonit* noch durch Aufquellung der innerkristallinen Schichten verstärkt.

4) Verbesserung der B. wird auch durch längeres Lagern der Massen in feuchten Kellern (sog. Mauken*, Sumpfen) erreicht. Die Gründe liegen einmal in einer gleichmäßigeren Durchfeuchtung der Massen und zum anderen in der Tätigkeit von bestimmten Mikroorganismen. Bekannt ist auch die Quellung des Kaolinits durch Harnstoff- oder Ammoniumacetateinlagerungen.

[39, 41, 48, 130, 131, 133, 134, 137]

Bildsamkeit, Hilfsmittel zur Verbesserung der – *Zusätze zu von Natur aus unbildsamen Massen bzw. zur Verbesserung wenig bildsamer Massen, um eine bildsame Formgebung* zu ermöglichen bzw. zu erleichtern.* Das bekannteste Hilfsmittel ist Bentonit. Können aus bestimmten Gründen die tonigen Anteile einer Masse nicht weiter erhöht werden, oder erfahren Werkstoffe durch Zusatz von Tonen eine Minderung der technischen Eigenschaften, werden als Hilfsstoffe meist organische, zähviskose oder schleimige, wasserlösliche Verbindungen herangezogen, wie Polyvinylalkohol, Stärke, Dextrin, Agar-Agar, Tragant, Eiweißstoffe, Sulfitablauge, Paraffin u. a. Diese Stoffe brennen dann mehr oder weniger rückstandsfrei aus.

Bildschein (Lackschatten) – *matter Saum um das Schiebebild,* hervorgerufen durch Farbreste vom Druck der Bilder oder durch Schmutz auf der Unterlage des Bildes.

Bildungsenthalpie (Bildungswärme) – *die beim molaren Formelumsatz unter konstantem Druck frei werdende (exotherme Reaktion) oder verbrauchte (endotherme Reaktion) Wärme.*

Da die B. von komplexen Oxiden und Silicaten auf direktem Wege schwer meßbar ist, bestimmt man die Werte indirekt mit Hilfe des *Heß*schen Satzes*. Zur einheitlichen Definition der B. ist festgelegt, daß alle an der Bildungsreaktion teilnehmenden Stoffe im Standardzustand (298,15 K, $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa) vorliegen müssen. Für Elemente ist die B. definitionsgemäß gleich Null.

$$\Delta H^0_{298} = \sum \Delta H^0_{298\text{-}E} - \sum \Delta H^0_{298\text{-}A}$$

$\Delta H^0_{298\text{-}E}$ B. der Endpunkte
$\Delta H^0_{298\text{-}A}$ B. der Ausgangspunkte

Die Werte für ΔH^0_{298} bewegen sich zwischen +200 und $-2\,500$ kJ mol^{-1}.

B. sind temperaturabhängig; unter anderen Bedingungen erhaltene Werte können nach dem *Kirchhoff*schen Satz

$$\Delta H^0_T = \Delta H^0_{298} \int_{298}^{T} \Delta C_p \, dT$$

C_p molare Wärmekapazität des Stoffes bei konstantem Druck

auf Standardbedingungen umgerechnet werden.

Die Werte der Standardenthalpien sind tabelliert, z. B. in [58 bis 60].

Bimsstein – *saures Gesteinsglas* von meist heller Farbe, das beim Erkalten durch die austretenden vulkanischen Gase mit blasiger Textur (schaumig) erstarrte. Infolge der in den Poren eingeschlossenen Gase schwimmt B. auf Wasser. Verwendung als Schleif- und Poliermittel (Härte <5,5), Reinigungsmittel, Zuschlagstoff für Leichtbaustoffe u. a.

Bindefähigkeit – *Eigenschaft bildsamer Stoffe, größere Anteile an nichtbildsamen Stoffen – sog. Magerungsmitteln – zu umschließen (»einzubinden«),* wobei die Verformung noch ermöglicht und nach Verformung eine bestimmte Festigkeit erhalten wird. Zur Charakterisierung der B. kann die Trokkenbiegefestigkeit verwendet werden. Die B. ist eine wichtige Eigenschaft ff. Tone.

Bindemittel – *Stoffe, die, mit Magerungsmitteln und Wasser in bestimmten Mischungsverhältnissen vermengt, ein breiiges Mineralgemenge (Mörtel) ergeben, das im Zustand der Verarbeitung leicht verformbar ist, aber später erhärtet.* Nach der Art der Erhärtung teilt man ein:

1) selbständig an Luft erhärtende (Tone*, Lehme*, Plaster*),

2) unselbständig an Luft erhärtende (Luftkalke),

3) hydraulisch erhärtende (hydraulische Kalke, Zemente*).

Binder – *Stoffe, die, mit Magerungsmitteln und Wasser, in bestimmten Mischungsverhältnissen vermengt, ein breiiges Mineralgemenge (Mörtel) ergeben, das im Zustand der Verarbeitung leicht verformbar ist, aber später erhärtet.*

Man unterscheidet:

- *Organische B.* – feste oder flüssige Verbindungen, die bis etwa 500 °C langsam und rückstandslos ausbrennen sollen und mit den in Berührung kommenden Materialien nicht bzw. nur in ganz geringem Umfang reagieren dürfen. Im einzelnen zählen dazu Agar-Agar*, Alginate*, Dextrine*, Gelatine*, Getreidemehl, Glukose, Gummiharze*, Glycerin*, Harnstoff, Ligninsulfonate, Melasse, Polyvinylalkohol*, Stärke, Sulfitablauge*, Wachse*, Cellulose und der nicht rückstandsfrei ausbrennende Teer, welcher gewöhnlich nur bei feuerfesten Massen zum Einsatz kommt.
  Einige Cellulosederivate schäumen stark auf, Verminderung ist durch Zugabe von Entschäumern* möglich.
  Allgemein muß bei Verwendung organischer B.

auf ihre physiologische Verträglichkeit geachtet werden.

- *Anorganische B.* – verbleiben in der Masse und greifen mehr oder weniger in das Reaktionsgeschehen beim Brand ein. Hierzu zählen Bentonit*, Wasserglas*, Na/Al-Phosphate, Sorelzement (Gemenge von $MgO/MgCl_2$); im weiteren Sinne zählen auch dazu Portland-/Tonerde-/Tonerdeschmelzzement. Meistens werden sie feuerfesten Massen (Kohlenstoff-, Dolomitmassen u. a.) zugesetzt; die Verfestigung wird durch chemisches und/oder hydraulisches Abbinden im kalten Zustand erreicht, wobei sie den Formlingen eine solche mechanische Festigkeit verleihen, daß sie ungebrannt versandt und unmittelbar als Ofenbausteine verwendet werden können. Eine weitere Verfestigung wird durch Sinterung während des Einsatzes erreicht.

[39, 123, 168, 246]

Bingham-Körper – *s.* Modelle, rheologische

Biokeramik (griech.: bios = Leben) – *Gruppe keramischer Werkstoffe, die als Implantate in der Kieferchirurgie, der Gelenkprothetik und der Herzchirurgie eingesetzt werden.*

An implantierbare Werkstoffe werden außer einer guten Körperverträglichkeit und -beständigkeit noch sehr hohe Forderungen in bezug auf mechanische Festigkeit, Ermüdungs- und Reibungsverhalten gestellt. Nach ihrem Verhalten als Implantat kann B. eingeteilt werden in:

- *bioinerte B.* – hochreines Al_2O_3 und ZrO_2 für Gelenkprothesen, Kieferimplantate, Si_3N_4, SiC, SIALON für Gehörknöchel, Keratoprothesen und pyrolytischer Kohlenstoff für Herzklappen, Sehnenersatz u. a.,
- *bioaktive B.* – Werkstoffe bzw. Gläser der Systeme $SiO_2-P_2O_5-CaO-Na_2O$ bzw. $SiO_2-P_2O_5-CaO-MgO-Na_2O-K_2O$ für Knochenersatz; sie besitzen eine gewisse Oberflächenaktivität gegenüber dem Gewebe, die zu einer chemischen Bindung zwischen Gewebe und Implantat führen kann.
- *resorbierbare B.* – Calciumphosphat – bzw. Apatitkeramik für Kieferimplantate und Knochenersatz. Diese Gruppe wird durch Biomineralisation in körpereigene Substanz umgewandelt, jedoch sind hier Probleme mit der mechanischen Festigkeit nicht auszuschließen.

[133, 247, 248]

s. Endoprothesen

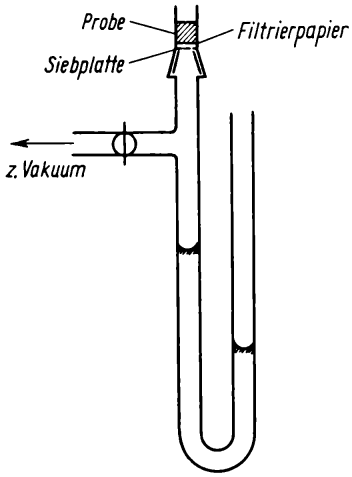
Biskuitporzellan (lat.: bis coctum/franz.: biscuit = zweimal gebacken) – *unglasiertes, dichtgebranntes Weichporzellan, das durch einen weichen marmorartigen Mattglanz und sehr glasigen, muschligen Bruch charakterisiert ist.*

Seger gibt als Versatz 54 Teile Kaolin, 45 Teile Feldspat und 1 Teil Marmor an, *H. Hecht* schlägt jedoch einen Versatz von 60 Teilen Feldspat, 30 Teilen Kaolin, 10 Teilen weißbrennendem Ton und 10 Teilen Sand vor. Da dieser Scherben nach dem Brand etwas Fettglanz zeigt, werden die Artikel zweckmäßig in einer Lösung von 7 Teilen Wasser, 2,5 Teilen Salzsäure und 0,5 Teilen Flußsäure geätzt. Durch den Angriff der Säure erhält die Oberfläche eine marmorartige Körnung. In England wird auch Knochenporzellan* als Biskuitmasse benutzt. Zum Teil wird auch mit Fritten gearbeitet. B. war besonders im Klassizismus zur Darstellung und Nachahmung zeitgenössischer und antiker Marmorbildwerke beliebt. [185]

Bismutverbindungen – Auswahl einiger Verbindungen des Bismuts ($D = 9{,}78\ g\ cm^{-3}$, $T_s = 271\ °C$), die in der Porzellanmalerei Verwendung finden. Bismut(III)-oxid verleiht Farben und Glasuren eine irisierende Eigenschaft, steigert die Lichtbrechung der Glasuren, dient der gelblichen Färbung von Bleiglasuren (besonders bei langer Brenndauer). Eine Mischung aus basischem Bismut(III)-nitrat, $Bi(OH)_2NO_3$ und wasserfreiem Borax oder kleineren Mengen Bi_2O_3 wird bei Poliergold (zu etwa 10 %) als Fluß verwendet. Bismutnitrat ist in Verbindung mit $SnCl_2$ ein Irisierstoff bei Lüsterfarben und Glasuren, in Verbindung mit anderen Metalloxiden bildet es farbige bis perlmuttartige Lüster, die z. B. mit Eisenoxid je nach Menge von Rot über Orange bis Gelb variieren können.

Blähton – *frühsinternder Ton, der im pyroplastischen Zustand Gase abgibt, die aber wegen der verglasten Oberfläche nicht austreten können und dadurch Aufblähungen bedingen.* B. sollen 13 bis 25 % Al_2O_3, >3 % Fe_2O_3 und <6 % Alkalien aufweisen. Die im Temperaturbereich von 1200 bis 1350 °C auftretende starke Gasbildung hat ihre Ursachen in der Reduktion von Fe_2O_3 zu FeO, wobei organische Beimengungen bzw. freier Kohlenstoff eine wesentliche Rolle spielen in der Dissoziation von Carbonaten, Sulfaten und Austritt letzter Wasserreste. Erzeugnisse aus B. werden u. a. als Betonzuschlagstoffe zur Herstellung von Leichtbeton verwendet.

Blaine-Test – *Verfahren zur schnellen, routinemäßigen Bestimmung der Oberflächen von Pulvern mit Korngrößen von etwa 0,1 bis 10 µm durch Messung der Permeabilität* (s. Bild). Eine bestimmte



Permeabilitätsmeßgerät nach *Blaine*

Menge des zu untersuchenden Pulvers wird in den Proberaum gegeben, der mit einem Manometer und Anschluß an Vakuum (bzw. Gummiball) über einen Hahn verbunden ist. Durch kurzes Öffnen erzeugt man im Raum zwischen Manometerflüssigkeit, Preßling und Hahn einen Unterdruck. Dann wird die Zeit gemessen, bis der Druckausgleich durch das Pulver hindurch erfolgt ist. Das Gerät wird mit einem Pulver von bekannter Oberflächengröße geeicht. Unter etwas vereinfachenden Annahmen kann die Oberfläche eines Pulvers A_x mit Hilfe der Formel

$$A_x = A_0 \sqrt{\frac{t_x}{t_0}}$$

A_0 Oberfläche des bekannten Pulvers
t_x bzw. t_0 Absinkzeit der Manometerflüssigkeit zwischen zwei bestimmten Marken

berechnet werden.

Blankenhainer Porzellanmanufaktur – 1790 von *Speck* aus Großbreitenbach gegründet. Den eigentlichen Aufschwung erfuhr der Betrieb im ersten Viertel des 19. Jh. Produziert wurden Gebrauchsgeschirre, Pfeifenköpfe u. a. 1948 ging der Betrieb als VEB Weimar-Porzellan in Volkseigentum über. Seine Erzeugnisse haben sich durch die modernen Formen und geschmackvollen Dekors einen guten Ruf als Qualitätsporzellan erworben. Die Marke bestand ursprünglich aus einem blauen Unterglasur-»S«. Ende des 19. Jh. erschien das Weimar-Rautenschild, das später durch Krone und Lorbeerkranz ergänzt wurde (s. Bild).

Fabrikmarken der Porzellanmanufaktur Blankenhain

Blasen – *Hohlräume im Scherben und in der Glasur.*

Der Inhalt der Blasen kann beim Sintern eingeschlossene Brennatmosphäre, aber auch O_2, N_2, CO_2 sein. Mögliche Ursachen für Blasenbildung sind:

- eingeschleppte/eingeführte Carbonate,
- verunreinigte Rohstoffe,
- einige Feldspatsorten, die zur Abgabe von N_2 und Wasserdampf beim Schmelzen neigen,
- in reduzierender Brennatmosphäre kann sich nach dem *Boudouard*schen Gleichgewicht* oberhalb 800 °C Kohlenstoff ablagern, der bei höheren Temperaturen in oxydierender Atmosphäre zu CO_2 umgesetzt wird; tritt bereits ein Schließen des Scherbens ein, so kann CO_2 nicht entweichen,
- Übergang des Fe^{3+} in Fe^{2+} ($3\,Fe_2O_3 \rightarrow 2\,Fe_3O_4 + \frac{1}{2}\,O_2$),
- bei der nichtisothermen Sinterung* laufen nach Überschreiten des optimalen Sintergrades* Rekristallisationen, Auflösen von Kristallen in Schmelzen, Viskositätsabnahmen der Schmelzen u. a. ab, die mit erheblicher Blasenbildung verbunden sind.

Weitgehend blasenfreie Produkte lassen sich nur durch Brennen im Vakuum oder unter Druck (Heißisostatisches Pressen) erzielen.

B. in Glasuren können vom Scherben, von der Glasur oder von Reaktionen zwischen beiden herrühren; solange sie <80 µm sind, werden sie vom Auge nicht wahrgenommen, größere führen jedoch zu Fehlern. Nach dem Aussehen wird dann eine Glasur als nadelstichig, eierschalig oder bewölkt bezeichnet. Die Ursachen sind kleine Krater oder Grübchen, die durch den Austritt von B. oder

durch B., die unter der Glasuroberfläche liegen, hervorgerufen wurden. [94, 123, 133, 143, 168]
s. Porosität, Lunker

Blaudämpfen – *blau- bis silbergraue Färbung von Dachziegeln und Klinker.* Nach Erreichen der Garbrandtemperatur wird der Ofenraum abgedichtet, und in das Feuer oder direkt in den Ofenraum werden Öl und/oder frische Zweige (Erlenholz) gegeben. Die dabei entstehenden Dämpfe bzw. der Ruß begünstigen die Bildung von Fe_3O_4, das als färbendes Pigment wirkt.

Bläuen – *Erzielen eines weißen Farbtones bei Behaut-, Beguß- und Steingutmassen durch Zugabe löslicher Cobaltsalze zum Mühlenversatz, wenn die Rohstoffe Eisenverbindungen enthalten.* Die Cobaltsalze bilden während des Brandes zu den gelbfärbenden Eisenverbindungen eine Komplementärfarbe aus. Bei einem Gehalt von 0,5 bis 1 % Fe_2O_3 sind z. B. 0,06 bis 0,1 % $CoCl_2$ notwendig.

Bleicherde (Walkerde, Fullererde) – *montmorillonithaltige Xerogele, die nicht im Wasser zerfallen.* Wegen ihres selektiven Adsorptionsvermögens nach Aktivierung durch Mahlen oder mittels Säuren oder auch im natürlichen Zustand zum Entfärben und Reinigen von Ölen u. ä. verwendet. Der Entfärbungseffekt beruht auf der Filtrationswirkung, der selektiven Adsorption und der katalytischen Aktivität des in der B. vorliegenden Montmorillonits.

Bleiglasuren – *Gruppe von Glasuren, die sich durch Brillanz, Transparenz und hohe elektrische Isolationsfestigkeit auszeichnet, aber wegen der Giftigkeit der Bleikomponente nur eine begrenzte Anwendung finden kann.* B. sind gegenüber der Brennatmosphäre empfindlich, chemisch leicht angreifbar und mechanisch wenig fest. Die Bleikomponente setzt die Ausschmelztemperatur stark herab, muß aber wegen der Giftigkeit mit SiO_2 (und anderen Glasurkomponenten) vorgefrittet werden.

Lehnhäuser gibt zum Überziehen elektrischer Widerstände folgende *Seger*formel* (bzw. Zusammensetzung) an:

a) Aufschmelztemperatur 650 °C:

$$1\,PbO \cdot 0{,}34\,Al_2O_3 \cdot 0{,}81\,SiO_2 \quad 0{,}60\,B_2O_3$$

b) Aufschmelztemperatur 780 °C:
eine Fritte bestehend aus 54 Gew.-Teilen Pb_3O_4, 19 Gew.-Teilen Quarz, 14 Gew.-Teilen Borsäure und 6 Gew.-Teilen Kreide.

Bei keramischen Erzeugnissen, die nicht mit Lebensmitteln in Berührung kommen können, dienen B. als Basisglasuren zum Erzielen leuchtender Farben (wie chromrote Glasuren durch Zusatz von 20 % Bleichromat u. a.), z. B. Kunstglasuren. [100, 163, 164]

Bleiglätte (Blei(II)-oxid, PbO)
Kristallographie: Lithargit (rot) tetragonal $\overset{489\,°C}{\rightleftharpoons}$ Massicot (gelb) orthorhombisch; Umwandlungsgeschwindigkeit sehr klein, deshalb oft beide Formen nebeneinander; Entstehung bei Oxydation von Bleiglanz (PbS)
Physikalische Eigenschaften: $H = 2$; $D = 9{,}56\ g\ cm^{-3}$ [8]
s. Mennige, Bleiverbindungen

Bleilässigkeit – *Angreifbarkeit bleihaltiger keramischer Farben und Glasuren durch Säuren und Abgabe von Blei-Ionen in das angreifende Medium.* Keramische Farben und Glasuren enthalten oft noch Blei bzw. Bleioxid in wechselnden Mengen, das bei Korrosionen* mit in Lösung geht. Blei und seine Verbindungen sind gesundheitsschädlich, daher wird die Bleiabgabe bei Geschirr und Gebrauchskeramik nur in sehr engen Grenzen toleriert.

Blei/Bleioxid ist ein sehr gutes Flußmittel* und weist besonders bei niedrigen Brenntemperaturen eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften (frühes Schmelzen, gutes Auflösevermögen gegenüber anderen Vorsatzkomponenten, gutes viskoses Verhalten, hohe Transparenz, günstige Wärmedehnungswerte, keine Hygroskopie u. a.) auf, die bei transparenten Glasuren schwerlich durch andere Stoffe erreicht werden. Man kann aus dem Bleigehalt einer Farbe/Glasur nicht zwingend auf die Höhe der B. schließen; es besteht jedoch die Erkenntnis, daß die B. außer von der chemischen Zusammensetzung der Glasur von der Art der Versatzstoffe, d. h., ob PbO als Mennige (Pb_3O_4) oder Bleifritte ($PbO - SiO_2$) eingeführt wird, wesentlich beeinflußt wird. Allgemein gilt: je mehr Bestandteile als Fritte in den Glasurversatz eingeführt werden, desto geringer ist die Bleilässigkeit bei gleicher chemischer Zusammensetzung *(Lehnhäuser)*.

Zum Einfluß einzelner Komponenten ist bekannt:

- Al_2O_3 setzt die B. stark herab, allerdings sind den Al_2O_3-Zusätzen wegen der Erhöhung der Schmelztemperatur Grenzen gesetzt.
- SiO_2; es besteht keine Gesetzmäßigkeit der B.

zwischen Blei- und SiO_2-Gehalt, lediglich bei einem Verhältnis $PbO:SiO_2 = 1:2,5$ liegt ein stabiles Netzwerk vor, d. h. geringe B.
- MgO setzt bei Gehalten >5 % die B. herab.
- Na_2O/K_2O erhöhen die B.
- ZnO vermindert in geringen Mengen die B., höhere Anteile an ZnO erhöhen sie.
- BaO/CaO wirken ähnlich wie ZnO.
- B_2O_3; geringer Zusatz wirkt günstig; sobald über 0,4 mol B_2O_3 eingeführt werden, tritt eine Steigerung der B. ein.
- Die vierwertigen Oxide ZrO_2, TiO_2, SnO_2 vermindern die B.

[100, 158, 163, 164]

s. Schadstoffe, Dekoration, resistente

Bleilässigkeit, Prüfung der – Als Prüfungslösung hat sich international die Behandlung (Auslaugung) mit 4 %iger Essigsäure durchgesetzt; ihre Wirkung entspricht etwa der maximal auftretenden Säurekonzentration bei Nahrungsmitteln.

Nach der Prüftemperatur wird unterschieden:
- Kaltsäuerung – 24stündiges Einlagern in 4 %ige Essigsäure bei Raumtemperatur und
- Heißsäuerung – 0,5stündiges Kochen in 4 %iger Essigsäure.

Die Bestimmung des Bleis kann durch Fällung als $PbCrO_4$ und jodometrische Titration des CrO_4 vorgenommen werden. Außerdem sind die polarografische und kolorimetrische Bestimmung sowie die Atomabsorptionsspektralphotometrie zugelassen. Geprüft wird die Oberfläche von Flachgeschirr, die Innenfläche von Hohlgeschirr sowie ein 2 cm breiter äußerer Mundrand bei Trinkgefäßen. Einzelheiten sind in den entsprechenden Standards der einzelnen Länder festgelegt, z. B. DIN 51 031/32.

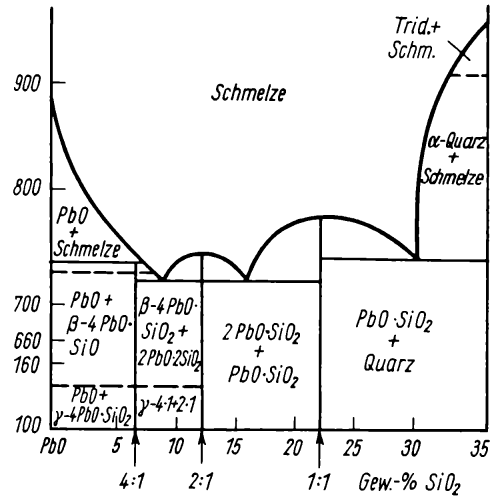
Für die DDR ist TGL 14 934 verbindlich.

s. Schadstoffe, Schadstoffabgabe

Bleisilicate – *Verbindungen des Siliciumdioxids mit Blei* (s. Bild). B. sind ausgezeichnete Flußmittel und bilden die Grundlage für niedrigschmelzende Glasuren zur Herstellung von Steingut, Wandplatten u. a. Außerdem verleihen sie diesen Glasuren einen niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten, als er mit Alkalien zu erreichen ist.

Bleiverbindungen – Die wichtigsten in der Keramik verwendeten Verbindungen des Bleis sind:

1) Bleioxid (PbO, Bleiglätte) – ein Gemenge von



Zustandsdiagramm des Systems PbO—SiO_2 (nach *Geller, Creamer* und *Bunting*)

- rotem PbO, tetragonal – auch Goldglätte, Lithargyrum genannt, und
- gelbem PbO, orthorhombisch – auch Silberglätte, Massicot genannt.

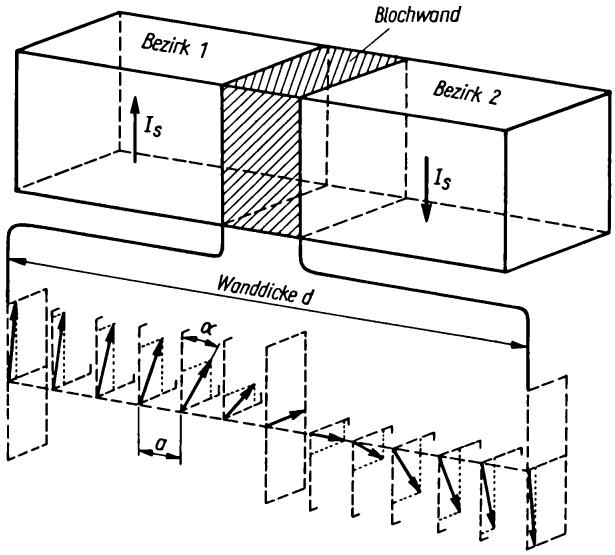
$H = 2$; $D = 9,3$ bis $9,5\ g\ cm^{-3}$; $T_s = 875$ bzw. 890 °C; Verwendung für niedrig schmelzende Töpfer-, Majolika- und Steingutglasuren.

2) Bleimennige (Pb_3O_4) – tetragonales rotes Pulver; $D = 8,6$ bis $9,05\ g\ cm^{-3}$; $T_s = 830$ °C; dissoziiert oberhalb 400 °C in Bleioxid und Sauerstoff. Wegen Eisenfreiheit wird B. zur Herstellung nicht gelbstichiger Glasuren verwendet.

3) Bleichromat ($PbCrO_4$) – monoklines gelbes Pulver; $D = 6,12\ g\ cm^{-3}$; $T_s = 844$ °C. In basischen Glasuren wandelt sich das gelbe Bleichromat in rotes, basisches um; zu lang dauernder Brand und reduzierende Einflüsse wandeln das Korallenrot in das gewöhnliche Grün der Chromglasuren um.

Alle Bleiverbindungen sind giftig.

Blochwände – *Übergangsbereich zwischen Gebieten entgegengesetzter Magnetisierung (Weißsche Bezirke*), dessen Abmessungen im µm-Bereich liegen.* B. besitzen ein Streufeld, was auf die Existenz magnetischer Ladungen bzw. Pole schließen läßt. Die mit neueren Verfahren der Elektronenmikroskopie und der Optik möglichen Detailanalysen der B. zeigen, daß sie eine Substruktur in Form sog. Blochlinien besitzen. (s. Bild S. 56)



Änderung der Magnetisierungsrichtung in einer 180°-Blochwand
a Atomabstand
α Winkel, der die Richtungsänderung der Atommomente kennzeichnet

Die Bildung magnetischer Wände erfordert einen bestimmten Anteil an freier Energie, die sog. Blochwandenergie, deren Größe wesentlich von der Anisotropieenergie des Magnetikums abhängt, d.h., Werkstoffe mit großer Anisotropieenergie besitzen eine hohe Blochwandenergie. Unmagnetische Störungen im Kristall, die zu einer Reduzierung der Blochwandenergie führen, stellen für die B. eine energetisch tiefe Potentialmulde dar (große Rückstellkräfte für den Fall der Auslenkung).

Zur Erlangung eines einheitlich magnetisierten Magnetkörpers sind Blochwandverschiebungen und -drehungen erforderlich (homogene Rotation des Magnetisierungsvektors). Es wird angenommen, daß im Bereich niederer Frequenzen der Magnetisierungsvektor dem angelegten Magnetfeld verzögerungsfrei folgen kann.

Bei Ferriten* wurden experimentell 180°-, 109°- und 71°-Wände, Streifendomänen und Zylinderdomänen beobachtet. [257]

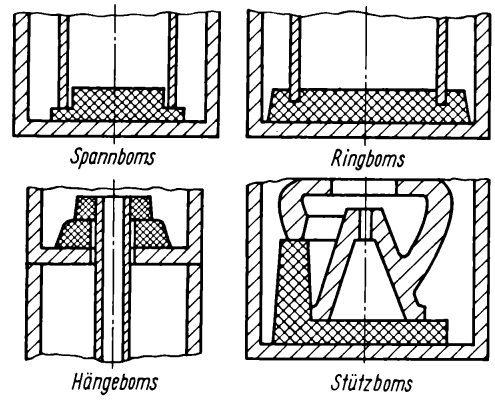
Blutstein – *rotes bis rotbraunes, feinkörniges, dichtes Aggregat des Minerals Hämatit (Fe_2O_3).* Verwendung als Polierstein bei der Metallbearbeitung, beim Poliergold und Poliersilber, bei der Blattvergoldung.

s. Eisenoxide.

Böhmit – *s.* Aluminiumhydroxide

Bolus (Bol) – *feinstkörniges Gemenge von Limonit (α-FeOOH · aq.), Halloysit* und Montmorillonit*.* Der *weiße* B. (Bolus alba) ist ein halbfetter, kaolinähnlicher Ton, der *rote* B. (Rötel, Rotocker, Terra rossa, Poliment) ein fetter Ton mit hohem Eisenoxidgehalt, so daß seine Farbe von gelb über rot bis braun gehen kann. B. wird verwendet zur Herstellung keramischer Erzeugnisse (Terra sigillata, *Böttger*steinzeug), als Pigment (z. B. die braune Terra di Siena), zu Grundierungen von Tafelbildern u. a. [8, 55]

Bomse – *gedrehte, gepreßte oder auch gegossene Brennhilfsmittel, die ein Verziehen der Gegenstände bei hohen Brenntemperaturen verhindern sollen* (s. Bild). Als *Stütz-B.* werden sie u. a. in Form der Stützel bei Figuren verwendet, um bei gefährdeten



Arten von Bomsen

Teilen ein Absenken zu verhindern. Als *Spann-B.* sollen sie z. B. dünnwandige Zylinder in ihrem kreisförmigen Querschnitt halten. B. dienen auch als Unterlage beim Abstellen noch frischer Formlinge. Beim Verwenden im Brennprozeß müssen sie dieselbe Schwindung haben wie die zu brennenden Gegenstände. Bei Bechern und Tassen sind die B. heute größtenteils durch das Bördeln abgelöst.

Bei Langstabisolatoren*, die hängend gebrannt werden, bezeichnet man mit B. das oberste Stück des Hubels; es ermöglicht die Aufhängung auf dem Kapselstoß* und wird nach dem Brande abgetrennt. [14, 164]

Bonden – *ganzflächige, stoffschlüssige Verbindung eines Chips* mit dem Substrat* bzw. Verdrahtungsträger durch Ankleben, Anlöten, Anlegieren oder Anglasen.* Die Verbindung dient der mechanischen Befestigung der Chips, der Ableitung der Betriebswärme und in einigen Fällen der elektrischen Kontaktierung. Sie muß eine ausreichende mechanische Festigkeit, geringen thermischen und elektrischen Widerstand aufweisen und den nachfolgenden Temperaturprozessen widerstehen. [199]

Borax ($Na_2O \cdot 2\,B_2O_3 \cdot 10\,H_2O$; als Mineral Tinkal)

Kristallographie: monoklin

Physikalische Eigenschaften: farblos; $H = 2$ bis 2,5; $D = 1{,}69$ bis 1,72 g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}446$; $n_\beta = 1{,}468$; $n_\gamma = 1{,}472$; $\Delta n = -0{,}026$; $2\,V = 39°$

Beim Erhitzen schmilzt B. unter starker Blasenentwicklung, während das Kristallwasser entweicht. B. dient zur Einführung von B_2O_3 in Glasuren. [164, 254]

Borazon – *s.* Bornitrid

Borcarbid (B_4C) – *im System B–C einzige Verbindung mit sehr breitem Homogenitätsbereich.* Die Herstellung erfolgt im Widerstands- oder Lichtbogenofen durch Umsetzung von B_2O_3 mit Graphit/Petrolkoks. Unter Verwendung von sehr feinen Körnungen von B_4C und geringen Zusätzen von Kohlenstoff ist es gelungen, Formkörper bei druckloser Sinterung* von >95% der theoretischen Dichte* zu erzeugen. B. ist nach Diamant* und BN* der härteste bisher bekannte Werkstoff. Verwendung findet es vorwiegend in Form von losem Schleifkorn, wegen seiner geringen Dichte und hohen Sprödigkeit* in kugelsicheren Westen und als Absorber. Für den Einsatz von B. als Absorbermaterial bildet der Absorptionsquerschnitt des ^{10}B-Isotops von 4000 Barn die Grundlage. Dieses Isotop ist im natürlichen Bor mit 18,8% enthalten, d. h., B_4C weist einen Absorptionsquerschnitt von etwa 600 Barn auf. Bei Neutroneneinfang wandelt sich ^{10}B gemäß der Reaktionsgleichung:

$$^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He + 2{,}3\,MeV$$

in Li und He um.

Kristallographie: trigonal

Physikalische Eigenschaften: $D = 2{,}52$ g cm^{-3}; $T_s = 2\,450$ °C; $\alpha_{25/1\,000} = 6 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; $E = 450$ GN m^{-2}; $\lambda = 29$ W(m K)$^{-1}$; $\varrho = 4 \cdot 10^2\ \Omega$ cm.

[133, 144]

Bord, oberer – meist äußerer planer Rand eines Stückes, z. B. eines Bechers oder einer Tasse.

Bördeln – *bordseitiges Zusammenkleben von Tassen, Bechern u. a. zur Vermeidung von Deformationen.* Das B. von weißgetrockneten Artikeln erfolgt mit Zellin- bzw. Dextrinleim. Das B. im geglühten und glasierten Zustand in Vorbereitung für den Glattbrand wird unter Verwendung von sog. Bördelleim (Gemenge von Kaolin, Tonerde, Zellin u. a.) ausgeführt. [158]

Boride – *binäre Metall-Bor-Verbindungen der allg. Formel Me_mB_n*

Von den zahlreichen bekannten Metallboriden unterschiedlicher Stöchiometrie haben nur die Diboride einiger Übergangsmetalle Bedeutung. Sie sind elektrisch leitend, oxydationsfester als Carbide, resistent gegen aggressive Schmelzen, eignen sich als Beschichtungswerkstoff (Flammen*- und Plasmaspritzen*), als Schleifmittel u. a.

TiB_2

Kristallographie: hexagonal

Physikalische Eigenschaften: $D = 4{,}5$ g cm^{-3}; $\alpha_{25/1\,000} = 7{,}4 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; $T_s = 2\,900$ °C; $E = 370$ GN m^{-2}; $\lambda = 27$ W m^{-1} K^{-1}; $\varrho = 1 \cdot 10^{-5}\ \Omega$ cm

Anwendung in oxidischer Atmosphäre bis 1700 °C.

ZrB_2

Kristalllographie: hexagonal

Physikalische Eigenschaften: $D = 6{,}1$ g cm^{-3}; $\alpha_{25/1\,000} = 8{,}6 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; $T_s = 2\,990$ °C; $E = 350$ GN m^{-2}; $\lambda = 23$ W m^{-1} K^{-1}; $\varrho = 1 \cdot 10^{-5}\ \Omega$ cm

Anwendung in oxidischer Atmosphäre bis 1400 °C. [133, 144]

Bornitrid (BN) – die Verbindung tritt in einer hexagonalen und einer kubischen Modifikation auf.

Die hexagonale Form besitzt Schichtstruktur – ähnlich dem Talk* –, weist eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit auf und ist von weißer Farbe. Das hexagonale BN wird durch Umsetzung von B_2O_3 mit NH_3 oder mit organischen Stickstoffverbindungen (z.B. Harnstoff) gewonnen. Bekannt ist auch die Umsetzung von CaB_6 mit Stickstoff bei Temperaturen >1500 °C. Werkstoffe auf der Basis der hexagonalen BN zeichnen sich durch hohe Resistenz gegen aggressive Schmelzen aus, sind schwer benetz- und schwer oxydierbar; darüber hinaus finden sie Verwendung als Dielektrikum* und Neutronenabsorber in der Kerntechnik.

Physikalische Eigenschaften: $D = 2{,}35\ \mathrm{g\ cm^{-3}}$; $E = 90\ \mathrm{GN\ m^{-2}}$ (bei 20 °C); $\alpha_{25/1000} = 3{,}8 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$; $T_s = 3000\ °\mathrm{C}$; $\lambda = 25\ \mathrm{W\ m^{-1}\ K^{-1}}$; $\varrho = 10^9\ \Omega\ \mathrm{cm}$ (bei 20 °C); die Härte ist niedrig ($H < 2$).

Die kubische Form – bekannt geworden unter dem Warenzeichen »Borazon« der General Electric Co., USA – wird unter den Bedingungen der Diamantsynthese (Drücke >5 GPa, Temperaturen >1500 °C) gewonnen. Sie besitzt Diamanthärte, oxydiert im Gegensatz zum Diamant* erst bei Temperaturen >1400 °C. Verwendung findet sie als Schneid- und Schleifmittel. [133, 144]

s. Hochdrucksynthese

Bortrioxid (B_2O_3); in der keramischen Praxis vielfach als Borsäure bezeichnet) – *ein ausgezeichnetes Flußmittel, das Blei teilweise oder gänzlich in Glasuren ersetzen kann.* B. bildet trigonale Kristalle mit der Dichte 2,46 g cm^{-3} und $T_s = 450$ °C oder auch eine hygroskopische, glasige Masse mit der Dichte 1,84 g cm^{-3}. Tritt B. in SiO_2-Glas ein, so sind damit kontinuierliche Eigenschaftsänderungen verbunden: bis zu 12% verringern den thermischen Ausdehnungskoeffizienten, größere Mengen erhöhen ihn (»Borsäureanomalien«). B. verbessert Zugfestigkeit, Elastizität, chemische Beständigkeit und verringert die Haarrißanfälligkeit.

Bossieren (ital.: bozza = rohe Ausarbeitung, Skizze, erster künstlerischer Entwurf) – *Zusammensetzen der mit Hilfe von Gips- und Kunststoffformen hergestellten Einzelteile zu einer ganzen Figur (aus Porzellan) mittels Masseschlickers.* Danach werden die Konturen der Figur verfeinert und nachgearbeitet, da beim Gießen und Modellieren nicht alle Details erzielt werden können. Die Ansatzstellen werden verputzt. Der Bossierer garniert (s. Garnieren) auch freihändig geformte Teile, wie Blumen, Zweige, Bänder usw.

Böttger, J. F.

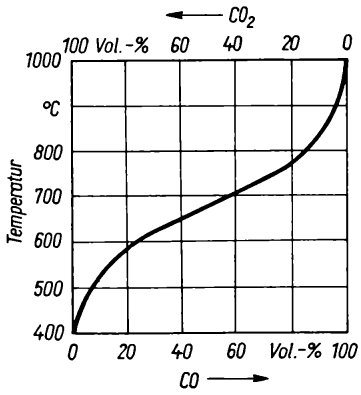
Böttger, Johann Friedrich – am 4. 2. 1682 in Schleiz (Thür.) geboren, erlernte das Apothekerhandwerk, kam mit Alchimisten in Berührung und unternahm Versuche zur Goldherstellung. Auf der Flucht vor Friedrich I. von Preußen gerät er in die Gewalt Augusts des Starken. Seit 1706 arbeitete er zusammen mit dem Staatsphysiker *E. W. von Tschirnhaus* an keramischen Problemen auf der Albrechtsburg und wurde 1707 aus Sicherheitsgründen für ein Jahr auf die Festung Königstein gebracht. 1708 Einrichtung eines keramischen Labors in der Jungfernbastei (jetzt Brühlsche Terrasse, Dresden) und Erfindung des europäischen Porzellans. 1710 Leiter der ersten europäischen Porzellanmanufaktur in Dresden, die aber im gleichen Jahr noch auf die Albrechtsburg nach Meißen verlegt wurde. B. blieb bis zu seinem Tode am 13. 3. 1719 Gefangener Augusts des Starken.

Das nach B. benannte *Böttgersteinzeug* stellt ein rotbraunes bis kaffeebraunes Steinzeug mit hartem, dichtem Scherben dar (88 Teile roter Bolus und 12 Teile geschlämmter Lehm). Als sog. *Jaspisporzellan* wurde es zu seiner Zeit chinesischen Erzeugnissen gleichgestellt, aber bald durch das Por-

zellan verdrängt. Nach dem ersten Weltkrieg kam es durch die Plastiken von *Barlach* u. a. wieder zur Geltung. Die Tradition des Böttgersteinzeuges wird von dem VEB Staatliche Porzellanmanufaktur Meissen weitergeführt.

Das zu Lebzeiten von B. hergestellte sog. *Böttgerporzellan* ist ein Calciumporzellan aus weißbrennendem Colditzer Ton (später durch Kaolin von Aue ersetzt) und Alabaster (als Flußmittel) aus Nordhausen. Nach Entdeckung eines Feldspatganges im Tal der Freiberger Mulde bei Siebenlehn entstand in Meißen bis 1735 ein Feldspatporzellan.

Boudouard-Gleichgewicht – *das chemische Gleichgewicht zwischen Kohlendioxid, Kohlenstoff und Kohlenmonoxid:* $172{,}2\ kJ + CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ (s. Bild). Mit steigender Temperatur und fallen-



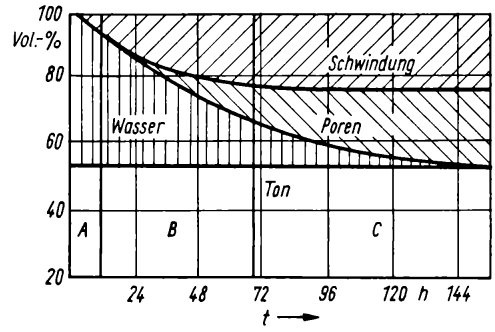
Temperaturabhängigkeit des *Boudouard*-Gleichgewichts $2\,CO \rightleftharpoons CO_2 + C$

dem Druck verschiebt sich das Gleichgewicht nach rechts, da es sich hier um eine endotherme und mit Volumenzunahme verbundene Reaktion handelt (bzw. nach links mit fallender Temperatur und steigendem Druck). Bei Atmosphärendruck stehen im Gleichgewicht:

Temperatur in °C	450	500	600	705	800	900
CO_2 in Vol.-%	98	95	77	50	10	3
CO in Vol.-%	2	5	23	50	90	97

Bei 705 °C liegen beide Kohlenoxide im gleichen Verhältnis vor, d. h., bei tieferen Temperaturen kann sich aus einer CO-Atmosphäre unter Bildung von CO_2 Kohlenstoff abscheiden, was beim keramischen Brand zu Fehlern führen kann, wenn unterhalb dieser Temperatur die Atmosphäre reduzierend eingestellt wurde.

Bourry-Diagramm – *Schaubild, das die Veränderungen der Volumenanteile Ton/Masse, Wasser, Schwindung und Poren beim Trockenvorgang wiedergibt* (s. Bild). Im Bereich *A* sind Schwindung und



Bourry-Diagramm

Wasseraustritt proportional. Im Bereich *B* erreicht die Schwindung ihren Höchstwert, der Wasseraustritt geht weiter und führt zur Porenbildung. Am Ende des Bereiches *C* ist sämtliches Wasser ausgetrieben, der Porenraum wird um das Volumen des ausgetretenen Wassers größer.

Der im Schaubild dargestellte Kurvenverlauf gilt für leichtrocknende Güter; für schwertrocknende Massen werden im Bereich *C* noch Effekte beobachtet (in Abhängigkeit von der Tonmineralart).

Braunglasur – *vorwiegend für Hochspannungsporzellane, gelegentlich auch für Steatit verwendete Scharffeuerglasur.* Zur Herstellung werden einer farblosen Rohglasur 8 bis 12 Masse-% braunfärbende Oxidgemische – sog. Braunfarbkörper – zugesetzt (bei halbleitenden Glasuren ist der Zusatz höher, da der für Sonnenerwärmung günstige braune Farbton die Halbleitung unterstützt). Der Glasurschlicker (max. Rückstand 0,5 Masse-% auf dem Sieb 0,063 mm lichte Maschenweite) wird durch Tauchen, Spritzen oder Besprühen auf den Rohling aufgetragen. Die Glasurdicke beträgt 120 bis 300 µm. Gebrannt wird in allen Ofentypen, wenn gesichert ist, daß ab 1 000 °C zum Beginn des Schließens der Glasur, mindestens jedoch bis 1 200 °C, reduzierende Atmosphäre vorhanden ist. Zur Erreichung der Braunfärbung muß spätestens bei Kühlungsbeginn oxydierende Atmosphäre herrschen.

Die thermischen und mechanischen Eigenschaf-

ten der B. werden wesentlich durch die Grundglasur bestimmt. An Probekörpern ist eindeutig erwiesen, daß eine unter Druckspannung stehende Glasur die mechanische Festigkeit erhöht, bei Großkörpern ist man jedoch geteilter Meinung. Allgemein werden günstige Druckspannungsverhältnisse durch CaO-reiche Glasuren erzielt. Eine Rolle spielt auch das Verhältnis SiO_2/Al_2O_3; als Optimum gilt dafür der Wert 7,3.

Die Braunfarbkörper stellen im wesentlichen calcinierte Mischungen von Chrom-Eisen-Manganoxiden dar, gelegentlich kommen noch Zink-, Titan- und Aluminiumoxid hinzu. Angestrebt wird Spinellstruktur, da Spinelle den lösenden Einflüssen der Glasur widerstehen und gegen Reduktion–Oxydation beständiger sind als die getrennten Oxide. Als Hauptträger der braunen Farbe wird der Eisen-Chrom-Spinell $FeO \cdot Cr_2O_3$ angesehen, jedoch haben auch solche technischen Bedingungen wie Mahlfeinheit, Brennregime und Zusammensetzung der Grundglasur ihren Einfluß. Im Redoxzustand liegen die Oxide des Fe und Mn zweiwertig vor, der eigentliche Farbton bildet sich erst aus, wenn wieder Sauerstoff an die Glasur gelangt. Geschieht das erst bei Beginn der Kühlung, nehmen nur die oberflächlichen Schichten der Glasur den braunen Farbton an. Setzt die Oxydation vor der Kühlung ein, ist die gesamte Glasurschicht dunkel gefärbt. Schnelles Kühlen erzeugt rote bis gelbe Farbtöne. Spezifische Fehler von B. sind: Metallisierung* und an tauchglasierten Körpern sog. *Ausplatzungen.* Letztere treten in Form von zwei- oder dreieckigen bzw. runden, glasurfreien Stellen oder in Form kleiner Blasen, die sich vom Scherben abheben, auf.

Braunstein – *zusammenfassende Bezeichnung für Manganerze, die in der Hauptsache aus MnO_2 bestehen.* Man unterscheidet:

1) Pyrolusit: tetragonal; stahlgrau; $H = 5$ bis 7; $D = 5{,}0\ g\ cm^{-3}$

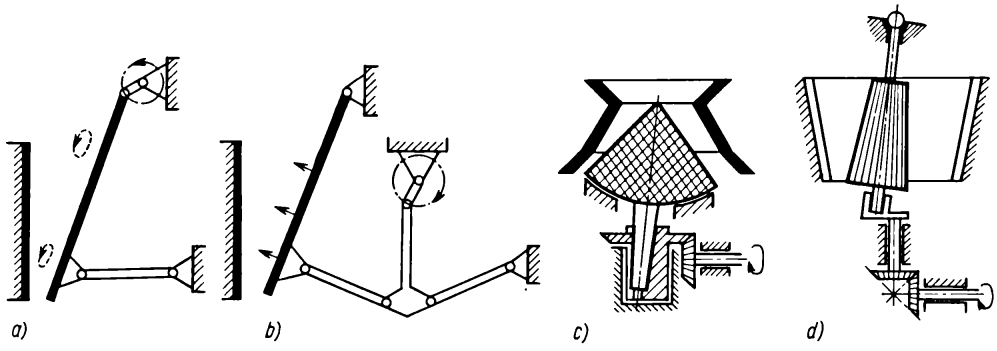
2) schwarzer Glaskopf oder Psilomelan: aus Gelen entstandene kollomorphe Masse

3) Wad- oder Manganschaum: eine lockere Abart des Psilomelan; Verwendung in der Keramik zur Erzielung brauner Farbtöne; in der Glasindustrie zum Entfärben des Glases (»Glasseife«).

Brecher – *Maschine zum Grobzerkleinern eines festen, vor allem mineralischen Gutes.* Grob-B. zerkleinern im wesentlichen durch Druckbeanspruchung, und zwar bis auf Korngrößen von etwa 80 mm. Fein-B. arbeiten mit Hilfe von Druck oder Schlag und zerkleinern das Gut auf 80 bis 5 mm. Für die Mittelhart- und Weichzerkleinerung werden Grob- und Fein-B. eingesetzt. Durch Schlag- und Scherwirkung werden Korngrößen von etwa 5 mm erreicht. Nach den Brechwerkzeugen unterscheidet man: Backen-, Kegel-, Walzen-, Prall-B. u. a. (s. Bild)

s. Backenbrecher

Brechwalzwerk – *Maschine zur Vorzerkleinerung nicht sehr harter Rohstoffe.* Es besteht im wesentlichen aus zwei in einem kräftigen Walzenstuhl gelagerten, sich gegeneinander drehenden Walzen, deren Manteloberfläche Riffeln oder Nocken, Dornen bzw. Stacheln oder Messer aufweist. Bruchsicherungen (Zerreißbolzen, Bruch-



Bewegungsschemata von Brechern
a) Kurbelschwingenbrecher *b*) Pendelschwingenbrecher *c*) Flachkegelbrecher *d*) Kegelbrecher mit bewegter Brechkegelachse

platten, Federn, Gummipuffer u. a.) schützen die Maschinenteile gegen Überbeanspruchung.

Brennatmosphäre – *Zusammensetzung und Druck der das Brenngut umspülenden Gase.*

1) Allgemein wird nach dem Einfluß der B. auf das Reaktionsgeschehen unterschieden in oxydierende, reduzierende und inerte B. Oxydierende B. wird vielfach auf das Vorhandensein von O_2 und reduzierende auf die Anwesenheit von CO zurückgeführt. Tatsächlich ist jedoch der Sauerstoffpartialdruck entscheidend. Ist z. B. bei einer bestimmten Temperatur der Sauerstoffpartialdruck kleiner als der Zersetzungsdruck des anwesenden Oxids, wirkt die Atmosphäre reduzierend; ist umgekehrt der Sauerstoffpartialdruck größer, wirkt die B. oxydierend.

2) Im Spezialfall übt die B. besondere Einflüsse auf das Brenngut aus, z. B.:

- Wasserdampf fördert die Mullit- und Cristobalitbildung, beschleunigt das Auflösen des Quarzes und die Abnahme der Porosität bei porzellanartigen Werkstoffen. Bei einigen Oxidkeramiken hat die Feuchteeinstellung wesentlichen Einfluß auf die Erzeugnisgüte.
- O_2-Atmosphäre fördert bei Oxidkeramiken die Verdichtungsgeschwindigkeit (gutes Diffusionsvermögen von O^{2-} im ZrO_2-Gitter), ermöglicht die rote Brennfarbe eisenreicher Ziegeltone, die Braunfarbe von Braunglasuren u. a.
- CO reduziert Fe_2O_3 in silicatischen Massen zu Fe_3O_4 bzw. FeO, vermindert damit beim Porzellan die sog. Luftgelbfärbung, ermöglicht bestimmte Farbtönungen bei Klinkern, erniedrigt die Sintertemperatur eisenoxidhaltiger Massen durch Fayalitbildung, verbreitert das Schmelzintervall der Feldspate u. a.

  CO kann auch bei hohen Temperaturen SiO_2 in das gasförmige SiO überführen, was sich dann an kälteren Stellen im Ofen niederschlägt und disproportioniert nach der Gleichung $2SiO \rightleftharpoons SiO_2 + Si$. Das dabei abgeschiedene Si kann zur Ursache von Schwarzfärbung der Sinterartikel werden.
- N_2 zeigt in reduzierender Atmosphäre bei höheren Temperaturen die Neigung, sich in Schmelzen zu lösen. Wird anschließend oxydierend weitergebrannt, so wird N_2 wieder freigesetzt und kann Ursache für Blasenbildung werden. Bei durchgehend reduzierender oder neutraler B. unterbleibt die Blasenbildung.
- H_2 wirkt reduzierend und ist zur Herausbildung von transparenter Keramik*, zur Sinterung von speziellen keramischen Halbleitern u. a. erforderlich, einige Brennaggregate (Mo, W = Heizleiter) können nur in H_2- Atmosphäre (oder Vakuum) betrieben werden.
- Inerte Gase (Ar, He, N_2, Formiergas) verhindern unerwünschte Reaktionen des Brenngutes während der Sinterung, ermöglichen in vielen Fällen die Senkung der Sintertemperatur und die Entwicklung dunkler Farbtöne bei schwermetalldotierter Al_2O_3-Keramik; sie verhindern bei Mangan-Zinkferriten unerwünschte Manganoxydationen.
- Vakuum verhindert ebenfalls unerwünschte Sinterreaktionen und erleichtert ein porenfreies Dichtsintern vieler Keramiken.

Neben den bisher aufgeführten Komponenten können im Abgas auch Fluoremissionen auftreten, die ihre Ursache in den F-Gehalten einiger Tonminerale* haben. Fluor kann im Gitter OH-Gruppen diadoch vertreten. Nach *H. Schmidt* sollte der Temperaturbereich der stärksten F-Emissionen bei 1 000° bis 1 200° schnell durchfahren werden, damit genügend Schmelzphase zum Schließen des Scherbens vorhanden ist und dadurch dem Fluor der Austritt verwehrt wird. [123, 133, 143, 158, 162, 163, 164]

s. HIP, Schadstoffabgabe

Brennelemente – *Batterie von Hüllrohren bzw. Hüllkörpern zur Aufnahme der Kernbrennstoffe**. Ihre Geometrie und ihre stoffliche Zusammensetzung richten sich nach der Art der Kernbrennstoffe, der Leistungsdichte und dem Kühlmittelkreislauf des Reaktors.

1) Für Leichtwasserreaktoren werden meist metallische Hüllrohre zur Aufnahme der zylindrischen Sinterkörper (z. B. UO_2), sog. Pellets*, herangezogen. Ein Bündel solcher Hüllrohre werden als B. bezeichnet und bilden den Kern des Reaktors.

2) Für Hochtemperaturreaktoren kommen nur B. aus keramischen Werkstoffen in Betracht, nur sie erlauben höhere Kühlgastemperaturen. Nach der Geometrie wird unterschieden in

- kugelförmige B., bestehend aus einer graphitischen Matrix mit einem Durchmesser von ≈600 mm (in einen solchen kugelförmigen B. werden etwa 40 000 Brennstoffkugeln (Durchmesser ≈0,2 bis 0,8 mm), die mit pyrolytischem Graphit beschichtet sind, untergebracht),

- blockförmige B., bestehend aus einem hexagonalen Graphitblock mit den Abmessungen diagonal ≈40 mm und in der Höhe 80 mm (ein solcher Block ist mit Bohrungen versehen, von denen eine bestimmte Anzahl für die Aufnahme des Brennstoffs vorgesehen ist, während andere Bohrungen vom Kühlgas Helium durchströmt werden).

[23, 133, 257]

Brennen – *Erhitzen des getrockneten keramischen Formlings im Brennaggregat auf die der jeweiligen Masse vorgegebene Temperatur zur Einleitung und zum Durchlaufen der Sinterung*; im Ergebnis erhält der Artikel seine Gebrauchseigenschaften.*

Die einzelnen Abschnitte werden in sog. Brennkurven* festgehalten.

Die das Brennergebnis beeinflussenden Faktoren sind:

- von der Brennführung her der Temperaturanstieg in der Zeiteinheit, die Höhe der Ausbrandtemperatur, die Haltezeit, die Brennatmosphäre, die Abkühlungsgeschwindigkeit, die Setzdichte u. a.,
- von der Masseseite her die chemische und mineralogische Zusammensetzung, die Korngröße bzw. spezifische Oberfläche des Pulvers, die Packungsdichte bzw. Rohdichte des Formlings, die Geometrie des Formlings und von der Formgebung her mitgebrachte Texturen* u. a.

Brenner

1) Berufsbezeichnung für Ofenarbeiter; bei den mit festen Brennstoffen beheizten Öfen war es die Aufgabe der B., für eine Glutschicht über dem Rost zu sorgen, die durch Asche und Schlacke immer genügend Luft erhielt. Sie wahrten oft die dafür erforderlichen Erfahrungen als ihr Berufsgeheimnis (»Ohne schwarzen Rauch kein weißes Porzellan«). Dem heutigen B. steht eine vielfältige Meß-Steuer-Regel-Technik zur Verfügung; er muß sowohl auf dem Gebiet der Sintertheorie* als auch in der eigentlichen Brenntechnik, Verbrennungslehre* und der entsprechenden Meß-Steuer-Regel-Technik bewandert sein.

2) In Feuerungsanlagen integriertes Bauelement zum Zusammenführen von Oxydationsmitteln (Luft) und Brennstoffen*, die dann durch Schaffung von Zündbedingungen in Form einer Flamme verbrennen. Die Vermischung von Brennstoffen und Oxydationsmitteln kann außerhalb der B. (sog. außenmischende B.) oder innerhalb der B. (sog. innenmischende B.) erfolgen. Für keramische Öfen haben sich folgende Brennertypen bewährt:

- Wirbelstrombrenner* mit getrennter Gas- und Luftzuführung,
- Hochgeschwindigkeitsbrenner* für Gas–Luft als Vollgemisch,
- Hochgeschwindigkeitsbrenner* mit getrennter Gas- und Luftzuführung,
- Impulsbrenner* für Gas, Öl und staubförmige Brennstoffe,
- Strahlungsbrenner* (Decken-, Seiten-, Steinstrahler.

B. sind einem starken thermischen, mechanischen und korrosiven Verschleiß ausgesetzt; an feuerfesten Baumaterialien kommen – je nach Einsatztemperatur – in Betracht: Schamotte*, Silica*, Periklas*, Chromerz-Periklas*, Sillimanit, Korund*, schmelzflüssig gegossene Mullitsteine u. a.

[143, 168, 269, 270]

s. Freibrand, Corhart-Standard-Steine

Brennfarbe – *Färbungen bzw. Tönungen keramischer Massen und Rohstoffe nach dem Brennen.*

Die B. wird insbesondere beeinflußt von

- den mineralischen Beimengungen (vor allem Pyrit*) sowie den Oxiden und Hydroxiden des Eisens, Kalks, Titans, Vanadiums und Mangans,
- der Korngröße der genannten Beimengungen,
- der Brennhöhe und der Brandführung,
- dem Gehalt an organischen Stoffen.

Bei den organischen Beimengungen ist es wichtig, daß sie bei einer richtigen Brandführung rückstandslos ausbrennen.

Die chemischen Hauptkomponenten der keramischen Erzeugnisse, SiO_2, Al_2O_3, Alkali- und Erdalkalioxide, erscheinen – unabhängig von der Brandführung – farblos. Eisenverunreinigungen können je nach vorhandener Menge und Oxydationsstufe und evtl. mitfärbender anderer Komponenten den Scherben von gelblich über grün, blau bis schwarz (Fayalit*) färben.

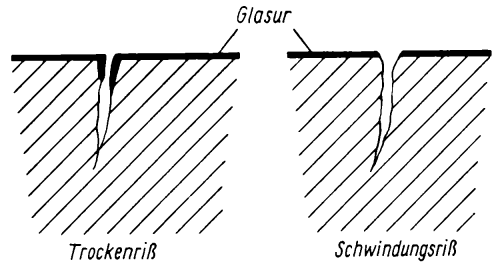
Im allgemeinen brennen Kaoline weiß, Tone wegen der höheren Anteile an Fremdstoffen bzw. färbenden Oxiden nicht weiß. [158, 254]

Brennfehler – *Qualitätsminderung durch Nichteinhalten der technologischen Vorschriften beim Brand,* wie zu rasche Temperatursteigerung, Abweichungen in der Temperaturhöhe, Haltezeit

Einige bekannte Glattbrandfehler des Porzellans

Fehlerart	Ursachen
Risse mit abgerundeten Kanten	Temperatursprünge beim Aufheizen (auch beim Glühbrand auftretender Fehler)
Risse mit scharfen Kanten	zu hohe Abkühlungsgeschwindigkeit
Deformationen bzw. übersintertes Porzellan	Überschreitung der Ausbrandtemperatur, zu kleines Sinterintervall, Fehler im Vorsatz, Verschiebung des Körnungsbandes
luftgelb (Gelbfärbung mit und ohne Pocken)	zu hohe Entkohlungstemperatur, zu späte oder unzureichende Reduktion
Grau- bzw. Schwarzfärbung	Kohlenstoffeinlagerungen durch unvollständiges Ausbrennen des Kohlenstoffs während der Entkohlungsperiode und zu frühes Fließen der Glasur
Nadelstiche*	siehe dort
braune Ränder sowie blinde Oberfläche durch Belag auf der Glasur	Rauchgas in der Kühlzone
geringe Transparenz, matte Oberfläche	Schwachbrand
hohe Transparenz, gezehrte Oberfläche	Überbrand
metallisierte Braunglasur	zu spät einsetzende Reduktion, ungleichmäßige Ofenatmosphäre
mißfarbene Braunglasur	reduzierende Atmosphäre bis zum Ausbrand, durch zu schnelles Abkühlen geringe Aufoxydation der Braunglasur

und Brennatmosphäre, zu rasche Abkühlung u. a. (s. Tabelle und Bilder)
B. können sich äußern durch Rissebildung, Deformationen, Mißfärbungen, zu geringe Dichte, zu



Brennrisse

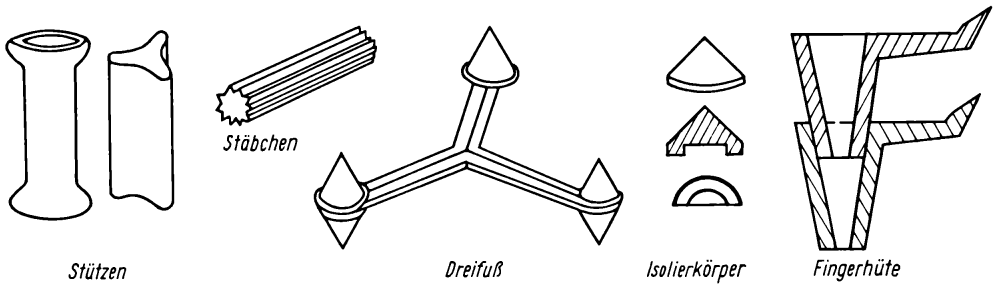
geringe mechanische Festigkeit, Pocken und Blasenbildung. [14, 158]

Brennhaut – *durch den Brenn- bzw. Sinterprozeß primär verursachte mehr oder weniger ausgeprägte Gefügeveränderung der Oberfläche einer Keramik gegenüber dem Inneren des Scherbens.* Die B. spiegelt die Wechselwirkung zwischen Brennatmosphäre und Brenngut wider. Die damit verbundenen Eigenschaftsänderungen können verschiedene Ursachen haben, z. B.
- den Ablauf von chemischen Reaktionen, die durch Anreicherungen von Verunreinigungen an Oberflächen gefördert werden,
- durch die Formgebung bedingte Texturen,
- durch Verdampfung bestimmter Elemente aus dem Scherben bedingte Reaktionen (z. B. Alkalien),
- Anflugglasuren* u.a.

Brennhilfsmittel – *Material, mit dessen Hilfe das Brenngut gleichmäßig im Brennraum gestapelt wird.* Während B. früher noch eine Schutzfunktion gegen schädliche Einflüsse, wie Aschebefall, zu erfüllen hatten, ist jetzt diese Aufgabe beim Brennen durch Gas- und Ölfeuerung oder elektrischen Brand zurückgetreten. An B. werden bestimmte Forderungen gestellt: gute Temperaturwechselbeständigkeit, gute mechanische Festigkeit (kein Lösen von Körnchen während des Brandes), ökonomisch vertretbarer Preis. Zu den B. zählen: Stützen, Ecksäulen, Platten, Kapseln, Bomsen u.a. Als Materialien für B. kommen in Betracht: Schamotte, Korund, Siliciumcarbid, Cordierit, Mullit u. a. (s. Bild S. 64).

Brennintervall – *s.* Sinterintervall

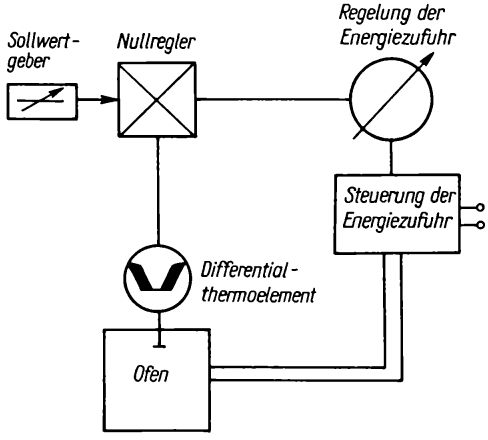
Brennkurve – *eine Grafik, die Temperaturanstieg – Haltezeit – Abkühlung eines Brennaggregates für ein bestimmtes Brenngut unter Berücksichtigung der Brennatmosphäre in Abhängigkeit von der Zeit darstellt.*



Verschiedene Brennhilfsmittel

Zur Aufstellung einer B. sind vielfältige Laboruntersuchungen an Masse und Formling, Versuchsbrände u. a. erforderlich.

Diese Grafik stellte ursprünglich die vom Brenner einzuhaltende Vorschrift dar. Mit Hilfe von *Seger*kegeln*, Becherproben, später noch Thermoelementen u. a. mußte der Brenner den Brand kontrollieren und durch seine Maßnahmen an die B. angleichen. Im Laufe der Weiterentwicklung von Brennaggregaten wurden die manuellen Regelungen durch die BMSR-Technik abgelöst, d. h., Zeitplan–Soll–Werte-Geber steuern/regeln auf elektro-mechanischem Wege weitgehend den Verlauf des Brandes (s. Bild). In letzter Zeit zeichnet sich



Prinzip der Regelung eines Brennablaufes durch Soll-Ist-Wert-Vergleich einer Temperaturdifferenz in einer Brennprobe

ab, daß man unter B. mehr eine Zusammenfassung aller technologischen Parameter des Brennverlaufes einschließlich der Randbedingungen versteht, die dann ihrerseits über Sensoren und Regeleinrichtungen den Brennverlauf kontrolliert.

[22, 143, 223, 233]

*s. Wobbe*zahl

Brennöfen – *Aggregate zum Brennen keramischer Erzeugnisse durch direkte oder indirekte Wärmeeinwirkung.* In der Grobkeramik genügt in der Regel einmaliges, bei den meisten feinkeramischen Erzeugnissen überwiegt noch zweimaliges Brennen (s. Glühbrand, Glattbrand). Man kann die B. einteilen:

1) nach der Betriebsweise

periodisch betrieben: Meiler- oder Feldofen, Kasseler Ofen, Öfen mit überschlagender Flamme, wie Rund-, Muffel-, Haubenöfen, Öfen für Spezialzwecke zum Brennen von Kalk, Gips, Glasur, Terrakotta usw.

kontinuierlich: Erdringöfen, Ringöfen aller Arten und Systeme, Gaskammerring-, Zickzack- und Reform-, Tunnel- oder Kanalöfen (bei den letzteren können noch Unterschiede vom Transportsystem her gemacht werden (Wagen, Rollen, Netzband, Platten, Luftkissen)).

halbkontinuierlich: Einzelöfen, gekoppelt mit Wärmeüberführung, auch als Gruppen- und Verbundöfen bezeichnet, Herdwagenöfen

2) nach der Beheizung

Kohle (Rost- und Streufeuerung), Öl, Gas (Generator-, Wasser-, Erd-, Flüssiggas), Elektrizität

3) nach der Art der Flammenführung

aufsteigend: Meiler- oder Feld-, Deutscher Ofen u. ä.

waagerecht: Kasseler, Ring-, Zickzack-, Tunnelofen

überschlagend: Rund-, Kammerring-, z. T. Kammerofen

4) nach dem Verwendungszweck

Ziegel-, Porzellan- usw., Glatt-, Dekorbrand usw.

5) nach der Art der Wärmeübertragung
direkt oder indirekt, z. B. bei Muffelöfen
s. Schnellbrandöfen

Brennregime – *zusammenfassender Begriff für sämtliche Faktoren, die den Brand beeinflussen,* wie Temperaturanstieg in der Zeiteinheit, Temperaturhöhe, Brennatmosphäre, Haltezeit, Abkühlung, Setzdichte, einschließlich solcher Faktoren, die für die Ofenkonstruktion maßgeblich sind.

Brennringe (Bullers-Ringe) – *aus keramischen Massen hergestellte, ringförmige Rohlinge, die während des Brandes aus dem Ofen entnommen werden und aus deren Schwindung auf die erreichte Temperatur geschlossen werden kann.* Dazu werden die erkalteten Ringe auf einen Dorn geschoben, der auf seinem konischen Teil eine Skala hat, so daß die Temperatur unmittelbar abgelesen werden kann. B. sind im Temperaturbereich von 900 bis 1 400 °C einsetzbar. Ein der Masse beigemischter Farbstoff gibt noch Auskunft über die Ofenatmosphäre.

Brennrisse – *s.* Brennfehler

Brennschwindung – *Volumenabnahme eines trockenen Rohlings während der Sinterung**, ausgewiesen in %. Meist werden zur Bestimmung der B. Probeplättchen aus dem zu beurteilenden Rohstoff bzw. der Masse angefertigt. Mißt man an diesen Plättchen den eingetretenen Verlust an Längenabmessungen, so spricht man von linearer Schwindung; sie ist immer gemeint, wenn man einfach von Schwindung spricht. In manchen Fällen ist jedoch die Kenntnis der kubischen Schwindung wichtig, besonders bei der Herstellung von Gefäßen bestimmten Rauminhalts (Volumenminderung).

Die kubische Schwindung läßt sich aus der linearen Schwindung nach der Formel:
kubische Schwindung (in %)

$$= 3\,s - \left(\frac{3\,s^2}{100} - \frac{s^3}{10\,000}\right)$$

berechnen; sie ist immer etwas kleiner als das Dreifache der linearen Schwindung. [164, 254]
s. Schwindung*, Schwindungsanisotropie*

Brennstoffe – *natürliche oder veredelte, feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, die bei ihrer Verbrennung eine bestimmte Wärmemenge (Heizwert*) abgeben* (Umwandlung chemisch gebundener Energie in Wärme). B. sind organischen Ursprungs und bestehen vorwiegend aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Kohlenstoff ist der Hauptträger der Wärme, während Wasserstoff die Entzünd- und Brennbarkeit bestimmt. Außerdem enthalten B. noch O_2, N_2, S sowie mehr oder weniger große Mengen an Wasser und mineralischen Ballaststoffen, die beim Verbrennen als Asche anfallen.

feste B.: Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle, Koks (und Holz)

gasförmige B.: Generatorgas, Stadtgas, Erdgas, Ölgas (in Gas überführtes Heizöl), Flüssiggase (Sie befinden sich bei normalen Temperaturen unter höherem Druck in flüssigem Zustand; bei Entspannung werden sie wiederum gasförmig.)

flüssige B.: Destillate von Braunkohlenteer, Steinkohlenteer und Erdöl. (Die Destillate des Erdöls werden mengenmäßig am meisten verwendet.)

Gasförmige und flüssige Brennstoffe haben für den Ofenbetrieb große Vorteile:
- bequeme Förderung durch Rohrleitungen unter Druck,
- mögliche Verbrennung mit niedriger Luftzahl*, da Brennstoff und Luft sehr innig miteinander vermischt werden können,
- Wärmeentbindung kann über eine Vielzahl von Brennern* verteilt werden,
- Verbrennungsvorgang und Brennstoffzufuhr können bequem geregelt werden,
- bei gasförmigen B. meistens gänzlich und bei flüssigen B. weitgehendst aschefrei.

[169, 223, 234]

Brennstoffe, Entzündungstemperatur der – Um einen Verbrennungsvorgang einzuleiten, müssen die Brennstoff- und Sauerstoffmoleküle aktiviert (Aktivierungsenergie*) werden, d. h., ein Teil der Moleküle muß auf eine bestimmte Temperatur – die Entzündungstemperatur – erhitzt werden, so daß diese Moleküle selbst in der Lage sind, neue aktivierte Bestandteile zu bilden. Der Verbrennungsvorgang läuft dann in Form einer Kettenreaktion ab (s. Tabelle der Entzündungstemperaturen, S. 66). [234]

Brennstoffe, Zündgrenzen gasförmiger – Bei gasförmigen Brennstoffen ist eine Zündung nur dann möglich, wenn eine Mindestmenge Gas zur Luft zugemischt ist (untere Zündgrenze). Ab einer bestimmten höheren Gasmenge (obere Zündgrenze) ist das Gas-Luft-Gemisch nicht mehr zündbar (s. Tabelle S. 66).

Die Zündgrenzen werden auch Explosionsgrenzen genannt, denn ein Gemisch innerhalb dieser Grenzen kann zu verheerenden Explosionen in der Ofenanlage führen. Aus diesem Grunde ist bei

Entzündungstemperaturen

Brennstoffe	Entzündungstemperatur in °C
Braunkohle (trocken)	≈300
Braunkohlenbriketts	≈350
Steinkohle	300...350
Gaskoks	450...600
Stadtgas	560
Generatorgas	600
Erdgas	≈680

Zündgrenzen von Gas-Luft-Gemischen (nach *Brunklaus*)

	Zündgrenzen in %-Gas	
	untere	obere
Wasserstoff	4	74,2
Kohlenmonoxid	12,5	74
Methan	5,1	13,5
Ethan	3,0	12,5
Propan	2,1	9,3
Butan	1,8	8,4
Koksgeneratorgas	19	64
Steinkohlengas	5	30
Ferngas	5	33
Erdgas	5	15

Gas- und Ölbrenneranlagen darauf zu achten, daß ausströmende Gemische sofort gezündet werden.

Brennwagen – *Plattformwagen, auf dem das Brenngut (nebst Brennhilfsmitteln) in bestimmter Schubzeit durch den Brennkanal transportiert oder in den Herdwagenofen eingeschoben wird.* Die B. werden außerhalb des Ofens be- und entladen. Die Abdichtung nach unten erfolgt durch seitlich angebrachte, in Schamotte- oder Sandrinnen geführte Blechschürzen sowie durch Nut und Feder. Das Wagengestell wird durch einen ff. Belag gegen die hohen Temperaturen des Brennraumes geschützt.

Brikettieren – *Verfahren zum Stückigmachen feinkörniger, fester Stoffe durch mechanisches Zusammenpressen* (10 bis 30 MPa). Die gewonnenen Erzeugnisse (Briketts) weisen im Gegensatz zu anderen Verfahren (z. B. Granulieren, Sprühtrocknung, Sintern) eine bestimmte Größe auf. Die Festigkeit der Briketts beruht auf Adhäsion und Kohäsion der Teilchen; sie kann durch Zusatz von Bindern verbessert werden.

Brookit (TiO_2)

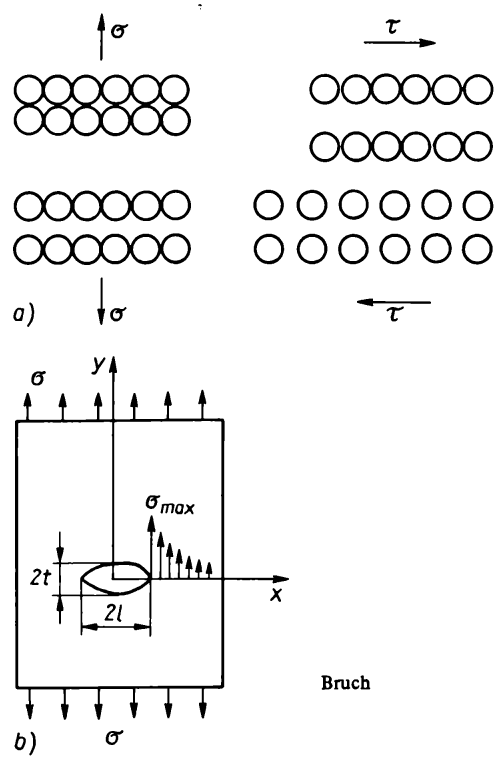
Kristallographie: orthorhombisch; monotroper Übergang bei ≈650 °C in Rutil

Physikalische Eigenschaften: rotbraun bis schwarz; $H = 5$ bis 6; $D = 3{,}9$ bis $4{,}2\,g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 2{,}583$, $n_\beta = 2{,}586$, $n_\gamma = 2{,}741$, $\Delta n = +0{,}158$; $+0{,}117$; $2V \approx 12°$; $\varepsilon_r = 78$

Bruch – *inhomogener Verformungsvorgang, der zur Trennung des Werkstoffes im makroskopischen Bereich führt.*

Ein B. tritt immer ein, wenn durch äußere oder innere Spannungen die Bindungskräfte zwischen den Atomen/Molekülen überwunden werden und dadurch eine neue Oberfläche entsteht. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Werkstofftrennung:

1) Bruch durch Spaltung, d. h. Überwindung der Bindungskräfte senkrecht zu einer als Spaltebene bezeichneten Atomschicht infolge Einwirkens von Normalspannung (Bild *a)* links),



Bruch

2) Bruch durch Scherung, d. h. Abgleiten von Atomschichten infolge Einwirkens von Schubspannungen (Bild *a)* rechts).

Eine theoretische Abschätzung *(Polany, Orowan, Griffith)* der für das Überwinden der Bindungskräfte in einem idealen Kristallgitter erforderlichen Spannungen ergibt die Werte:

$\sigma_{ideal} \approx E/10$ für Spaltung
E E-Modul
$\tau_{ideal} \approx G/10$ für Scherung
G Gleitmodul.

Für technische Werkstoffe liegen die tatsächlich ermittelten Bruchspannungen erheblich niedriger, was hauptsächlich auf das Vorhandensein von Spannungsspitzen an Kerben oder Rissen zurückzuführen ist.

Wird die in Bild *b)* dargestellte Platte mit einem Innenriß von der Länge $2l$ und der Höhe $2t$ mit der Normalspannung σ belastet, so betragen unter der Annahme eines isotropen und rein elastisch verformten Werkstoffes die an den Rißenden auftretenden Spannungswerte nach der Kerbspannungslehre *(H. Neuber)* $\sigma_{max} = \sigma(1 + 2l/t)$. Da $2l/t > 0$ ist, erhöht sich an den Rißenden die wirkende Spannung um den Faktor $(1 + 2l/t)$ gegenüber der Nennspannung σ. Bei Einführung des Krümmungsradius am Ende eines elliptischen Risses $\varrho = t^2/l$ geht die Gleichung über in $\sigma_{max} = 2\sigma\left(\frac{l}{\varrho}\right)^{1/2}$ für $l \gg \varrho$. Das heißt, die Spannungswerte am Ende eines Risses wachsen mit zunehmender Rißlänge und abnehmendem Kerbradius an. Das geschieht so lange, bis die Spannungsspitzen entweder durch plastische Verformung abgebaut werden oder die ideale Reißfestigkeit erreicht ist und der Bruch eintritt. Man kann also einen B. als Vorgang der Ausbreitung von Rissen in atomaren, mikroskopischen und schließlich makroskopischen Dimensionen beschreiben.

In der industriellen Praxis kennt man Roh-, Glüh-, Glatt-, Glasur-, Transport-, Veredlungs-, Schmelz-, Packerei- und Lagerbruch (als Ausschuß), entsprechend den Abteilungen, in denen der B. entsteht.

[43, 231]

Bruchbild – *Ausbildung der Oberflächen beim Trennbruch des Werkstoffes.*

Aus dem Bruchbild lassen sich Erkenntnisse über Inhomogenitäten und Texturen des Scherbens und Abschätzungen über die mechanische Festigkeit des Werkstoffes ableiten. Bei polykristallinen Werkstoffen kann der trennflächige Bruch entweder transkristallin (durchkörnig) oder interkristallin (zwischenkörnig) verlaufen. Am B. von Porzellan lassen sich ausgehend von Kerbstellen Bruchspiegel und klüftige Gebiete erkennen, so daß man die B. von Zerreißproben unterteilt in

- zerklüfteter Bruch,
- zerklüftet mit Spiegel,
- zerklüftet mit Keilstück,
- glatt.

[162, 260, 261]

Bruchenergie – *aufzuwendender Energiebetrag zur Auslösung eines Bruches* in einem Werkstoffsystem*; sie stellt ein Maß zur Überwindung des Rißwiderstandes dar und wird im wesentlichen von der Zähigkeit im Mikrobereich bestimmt. Die Maßeinheit der B. ist $J\,m^{-2}$ bzw. $N\,m^{-1}$.

Die B. läßt sich experimentell bzw. durch folgende Relationen (nach *O. Kröckel*) bestimmen:

1) $\gamma = M\bar{r}$ (Molekularfestigkeit und Größe des Mikrobereiches)

2) $\gamma = \varrho c \Delta T \bar{r}$ (im Mikrobereich verbrauchte thermische Energie)

3) $\gamma = \frac{v_B}{4}\varrho\bar{r}$ (längs des Mikrobereiches auftretende max. Bruchgeschwindigkeit)

4) $\gamma = \frac{\sigma_B^2}{4}\frac{Z}{E}$ (durch die Eigenschaftswerte der Gefügezelle des Werkstoffs mit dem E-Modul hervorgebrachte Bruchfestigkeit)

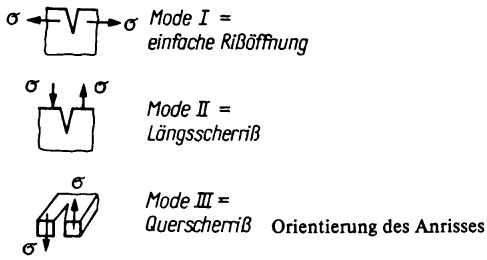
γ spezifische Bruchenergie
M molekulare Festigkeit (etwa 0,1 E)
$\bar{r}$ Größe des Mikrobereichs (Für technisches Porzellan wurde für $\bar{r} = 1{,}9 \cdot 10^{-6}$ cm bestimmt.)
ϱ Dichte des Werkstoffes
c spezifische Wärme
ΔT Temperaturerhöhung des Mikrobereiches
v_B max. Bruchgeschwindigkeit
σ_B Bruchfestigkeit
E E-Modul
Z Gefügezelle (kleinste Einheit, die den betreffenden Werkstoff noch repräsentiert; für Porzellan etwa 3,5 bis 8,2 mm^2).

Für technisches Porzellan fand *O. Kröckel* für γ_c (kritische B.) den Wert 26,7 $N\,m^{-1}$, *H. Scholze* gibt für das System Al_2O_3 γ_c mit 4,9 $N\,m^{-1}$ an. Es ist im einzelnen nicht bekannt, welche Prozesse für die zusätzlich absorbierte Energie beim Bruch verantwortlich sind. Eigentlich wäre zu erwarten, daß die

Werte der B. mit denen der Oberflächenenergie dieser Systeme übereinstimmen; tatsächlich betragen sie ein Mehrfaches. Allgemein werden die Werte stark beeinflußt von den Korngrößen des Materials. [150, 261, 262]

Bruchmechanik – *Arbeitsrichtung im Grenzbereich der Werkstoffwissenschaft und der Festkörpermechanik.*

Die von *Griffith* und *Irwin* begründete B. geht von der Vorstellung aus, daß in der Probe bzw. dem Werkstück der potentiell bruchauslösende Anriß bereits vorhanden ist, und sie stellt die Frage, unter welchen Bedingungen es zu einem instabilen Rißwachstum, d. h. zum Bruch*, kommt. Zur Beurteilung dieser Verhältnisse untersucht die B. die Spannungsverhältnisse in der Umgebung der Rißspitze und die Energiebilanz der Rißausbreitung. Dabei spielt die Orientierung des angenommenen Anrisses zu der von außen angelegten Spannung eine wichtige Rolle. Man unterscheidet hierbei drei Fälle (s. Bild):



Orientierung des Anrisses

Es kann gezeigt werden, daß Mode *I* der gefährlichste Fall ist, weshalb sich die weiteren Arbeiten auf die Untersuchung dieses Falls konzentrieren. Die B. definiert einen sog. »Spannungsintensitätsfaktor« *K*, der die Bruchgefährdung ausdrückt. Dieser Spannungsintensitätsfaktor ist abhängig vom Rißmodell und wird deshalb mit einem Index versehen, der sich auf den entsprechenden Fall bezieht (K_I = Mode *I*). Er kann definiert werden:

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{a}\, y$$

K_I Spannungsintensitätsfaktor Mode *I*
σ_0 von außen angelegte Spannung
a Länge des Anrisses
y Faktor, der sich aus der Geometrie des Risses und der Probe ergibt.

Für den Krümmungsradius ϱ an der Rißspitze wird bei dieser Betrachtung der Grenzwert $\varrho = 0$, d. h. der ideal spitz auslaufende Riß, angenommen. Nach der Definition ergibt sich für K_I die Dimension N $m^{-3/2}$ bzw. Pa $m^{1/2}$.

Das Eintreten des instabilen Rißwachstums wird dadurch gekennzeichnet, daß K_I einen kritischen Wert K_{Ic} erreicht. Die Größe K_{Ic} kann demnach als Festigkeitskenngröße des Werkstoffs aufgefaßt werden, und zwar als Widerstand, den der Werkstoff der Ausbreitung eines vorhandenen Anrisses entgegensetzt. Abgesehen davon, daß auch K_{Ic} statistischen Streuungen unterworfen ist, stellt diese Kenngröße eine echte Werkstoffkonstante dar, die z. B. keinem Volumeneffekt unterliegt.

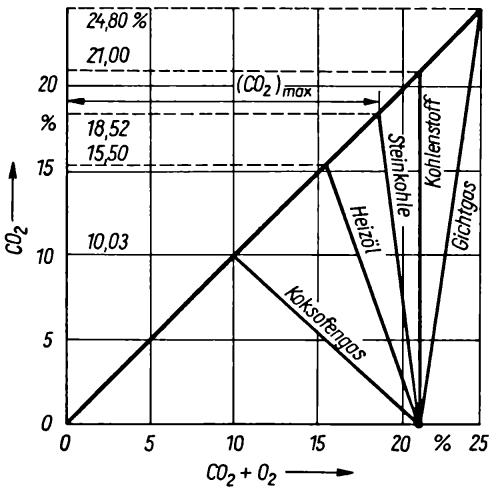
Die Bestimmung des K_{Ic}-Wertes für keramische Werkstoffe bereitet Schwierigkeiten, und ein entsprechender Standard existiert noch nicht. Eine Möglichkeit besteht in der Messung der Biegekraft gekerbter Biegestäbe bei Einhaltung bestimmter geometrischer Verhältnisse. Problematisch ist dabei, daß ein hinreichend kleiner Kerbradius erreicht werden muß. Nach der Theorie ist zu erwarten, daß der Kerbradius unter einem bestimmten Grenzwert keinen Einfluß mehr hat, d. h., daß die Bedingung des »scharfen« Anrisses mit praktischer Genauigkeit erfüllt ist. Über die Größe dieses Grenzwertes für den Kerbradius existieren werkstoffbedingt noch verschiedene Auffassungen. Als Größenordnung für den maximal zulässigen Kerbradius kann $\varrho_{max} \approx 0{,}1$ mm angenommen werden. Verständlich ist, daß es bei der Realisierung dieser Forderung technologische Probleme gibt.

K_{Ic} und die klassischen Festigkeitskennwerte, wie z. B. die Biegefestigkeit*, sind nicht direkt miteinander vergleichbar. Die Bestimmung der klassischen Festigkeitswerte kann daher auch nicht durch die Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte, wie K_{Ic}, ersetzt werden. [43, 94, 259]

Bruchzähigkeit – *s.* Spannungsintensitätsfaktor

***Bunte*-Dreieck** – *Grafik zur Überprüfung des Grades der Ausnutzung eines bestimmten Brennstoffes* (s. Bild). Auf der Abszisse der Grafik sind CO_2 und O_2 (in %) und auf der Ordinate CO_2 (in %) aufgetragen. Auf einer unter 45° geneigten Linie liegt der größtmögliche CO_2-Gehalt des betreffenden Brennstoffes. Ausgehend von diesem Punkt muß dann eine Gerade nach 21 % auf der Abszisse gezogen werden (im Bild sind diese Geraden für die Brennstoffe Koksofengas, Heizöl, Steinkohle, Kohlenstoff, Gichtgas bereits ausgewiesen). Die bei einer Abgasanalyse* gefundenen Werte von

$CO_2 + O_2$ müssen auf einem Punkt der 45°-Linie liegen, anderenfalls liegt unvollkommene Verbrennung vor.



Bunte-Dreiecke

Bunzlauer Tonware – *nach der niederschlesischen Stadt Bunzlau (heute Bolesawiec, VR Polen) benanntes Steinzeug.* Die großen Tonvorkommen in dieser Gegend bildeten die Basis für die bis ins 16. Jh. zurückreichende Herstellung von Kannen, Krügen, Dosen, Töpfen u. ä. Charakteristisch waren ein graubrauner, feinkörniger Scherben und braune Außen- sowie weiße Innenglasur. Ältere Stücke haben Reliefdekors, wie Blumen, Blätter, Vögel, Wappen u. a., vergoldet, weiß oder vielfarbig bemalt.

Bürgeler Töpferei – *nach dem Ort Bürgel bei Jena/Thür. benannte Töpferei.* Charakteristisch ist die Hafnerkeramik, ein vorwiegend bäuerliches Gebrauchsgeschirr mit rundlicher, gedrungener Grundform. Typische Farben sind Cobaltblau, Okker und Brauntöne. Mit einem Malhörnchen wird ein meist weißes Dekor in Form frei verteilter Punkte, ornamental gebundener Tupfen, Rauten, Kreise, Wellen-, Zickzacklinien usw. auf vorwiegend blauen oder braunen Untergrund aufgetragen. Die Anfänge der B.T. gehen bis ins 14.Jh. zurück.

Burgersvektor – *Vektor zur Charakterisierung der Gitterverzerrung einer Versetzung*.*
Der B. wird durch Konstruktion eines *Burgers*umlaufs um das »schlechte« Kristallgebiet der Versetzung gewonnen. [64]
s. Fehlordnung, strukturelle (Bilder zu Liniendefekten)

Bursting (bersten, platzen, aufblühen) – *Zersetzungsvorgänge eines feuerfesten Steines durch Bildung von Mischkristallen mit größerem Volumen während seines Einsatzes.* Insbesondere wird diese Erscheinung in Periklas-Chromit-Steinen beobachtet, wenn diese mit Eisenoxid in Berührung kommen. Es bilden sich dann Mischkristalle von Fe_3O_4 und $FeO \cdot Cr_2O_3$. Mit steigendem Cr_2O_3-Gehalt erhöht sich die Neigung zum B. Gitterstörungen in Chromit und Wechsel in der Atmosphäre zwischen reduzierend und oxydierend scheinen diesen Vorgang noch zu fördern.

Bytownit – Feldspat der Plagioklasgruppe (triklin), der sich etwa zu 70 bis 90% aus Anorthit ($CaAl_2Si_2O_8$) und dem Rest aus Albit ($NaAlSi_3O_8$) zusammensetzt; $D = 2{,}76\ g\ cm^{-3}$.

C

Calcinieren – *Erhitzen einer wasserhaltigen Verbindung bis zum Austritt des chemisch gebundenen Wassers,* z. B. die Überführung des Natriumhydrogencarbonats in (calc.) Soda:

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

(Der Austritt von CO_2 aus einer Verbindung wird als Entsäuerung bzw. thermische Dissoziation bezeichnet, z. B. $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$).

Calcit (Kalkspat, $CaCO_3$)
Kristallographie: trigonal
Physikalische Eigenschaften: farblos oder milchig weiß, bisweilen durch Beimengungen verschieden gefärbt; $H = 3$; $D = 2{,}6$ bis $2{,}8\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}658$, $n_\varepsilon = 1{,}486$, $\Delta n = -0{,}172$
C. ist ein sehr formenreiches Mineral und tritt in verschiedenen Varietäten auf:
1) in gut ausgebildeten Kristallen (Isländischer Doppelspat für optische Zwecke als Nicols*),
2) in körniger Form (Marmor),
3) oolithischer C. als kugelige oder schalige Aggregate, sog. *Rogenstein,*
4) poröser C. (Kalktuff, Travertin (Absatz von kalkhaltigen Quellen),

5) erdiger Kalk oder Kreide als marines Sediment.

C. wird Glasuren und in geringem Umfang auch keramischen Massen als intensives Flußmittel zugesetzt. Ab 800 °C findet merklich eine thermische Dissoziation statt; völlige Entsäuerung unter technischen Bedingungen erst oberhalb 1000 °C.

Calciumfluorid (CaF_2) – Mineralname Flußspat, Fluorit.

Kristallographie: kubisch

Physikalische Eigenschaften: selten farblos, gefärbt in allen Tönungen, durchsichtig; $H = 4$; $D = 3{,}18\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 1392\ °C$; $\alpha_{20\ bis\ 100} = 25 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; $E = 150\ GN\ m^{-2}$; $\lambda = 8\ W\ (m\ K)^{-1}$; $\varrho_{20\ °C} = 10^{15}\ \Omega cm$; $n = 1{,}434$

Anwendung: Bei 930 °C gesinterte Tiegel eignen sich zum Schmelzen von Uran; erzeugt in Blei-Bor-Glasuren Kristalleffekte.

[8, 100, 264]

s. Fluoritgitter

Calciumhydroxid (Kalkhydrat, $Ca(OH)_2$) – weißes, amorphes Pulver mit einer Dichte von $2{,}08\ g\ cm^{-3}$ oder kristallisiert in Form hexagonaler Säulen mit einer Dichte von $2{,}24\ g\ cm^{-3}$. Das amorphe C. ist reaktionsfreudiger. C. dient als Zuschlagstoff zu Quarzitmassen (wenige %), wirkt in kolloidalen Suspensionen als Koagulator.

Calciumoxid (Ätzkalk, CaO) – *durch Erhitzen von $CaCO_3$ gewonnene weiche erdige Masse.*

1) In keramischen Versätzen wird C. meist in Form des Carbonats eingeführt und wirkt als intensives Flußmittel.

Im ternären System $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ treten bei 1165 °C und im quaternären System $CaO-SiO_2-Al_2O_3-FeO$ schon bei 1070 °C erste Schmelzen auf.

Tonige Massen werden bei Zusatz von C. oberhalb 1000 °C bereits gesintert, unter 1000 °C macht es den Scherben porös. Steinzeug- und Porzellanmassen werden bei Gehalten von 5 bis 6 % C. bereits deformiert. C. verleiht Glasuren Zähflüssigkeit, begünstigt die Deckkraft von Trübungsmitteln, verhindert die Haarrißanfälligkeit und Verwitterungserscheinungen.

Glasuren mit einem C.-Gehalt über 18 % entglasen.

2) Eine Reihe von Eigenschaften lassen C. als feuerfesten Baustoff geeignet erscheinen, z. B. seine ausgezeichnete thermische Beständigkeit, kein Modifikationswechsel bis zum Schmelzpunkt, kostengünstige und reichliche Vorkommen. Nachteilig ist seine Bereitschaft zu chemischen Reaktionen mit sauren und amphoteren Oxiden; es ist bis zu 300 °C unbeständig gegen den Angriff von Wasser und Wasserdampf. Diese Hydratation kann kaum verhindert werden, sie kann nur eingeschränkt werden durch Verkleinerung der Oberfläche, wie Dichtsintern, bzw. durch Schutzschichten (Öl, Teer, Pech oder $CaCO_3$).

3) Einige Eigenschaften des C. (nach *E. Schlegel* [276]):

Kristallographie: kubisch

Physikalische Eigenschaften: $D = 3{,}36\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2287 \pm 10\ °C$; $\alpha_{25...400} = 125 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$; $\alpha_{25...2100} = 165 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$; $\lambda_{1000} = 7{,}8\ W(m\ K)^{-1}$

Calciumsilicat – *s.* Wollastonit

Calciumsulfat ($CaSO_4$) – Mineralname Anhydrit.

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: farblos; $H = 3$; $D = 2{,}96\ g\ cm^{-3}$; *o. D:* $n_\alpha = 1{,}569$, $n_\beta = 1{,}575$, $n_\gamma = 1{,}613$, $\Delta n = +0{,}044$; $2V = 43°$; häufige Bildung in Abgaskanälen im Temperaturbereich 600 bis 1000 °C; Umwandlung (langsam) in Gips* unter starker Volumenzunahme bei Angebot von Wasser.

[8]

Camaieu-Malerei – *häufig verwendete Porzellanmalerei um die Mitte des 18. Jh., bestehend aus einer Grundfarbe in mehreren Tönungen.* Besonders beliebt waren Purpur, Grün und Sepia. Die C.-M. in Grau wird als *Grisaille* bezeichnet. In Meißen tauchte die C.-M. vor 1730 (bei Chinoiserien*, Kauffahrtei- und Watteau-Szenen), in der Berliner Manufaktur um 1770 auf. In Frankreich wurde sie oft benutzt, um das Monopol von Sèvres für farbige Malerei zu umgehen.

Capodimonte – *Schloß bei Neapel*, von 1743 bis 1759 Sitz einer Porzellanmanufaktur. Die Erzeugnisse, nach dem Schloß benannt, zählen zu den besten Europas. Das Porzellan zeigt ein kräftiges Relief, während die Farben meist nur in Form feiner Linien oder Punkte aufgetragen sind.

Caput mortuum (lat.: caput = Haupt, mors = Blut, Tod) – *feinpulvriges, rotes Eisenoxid (Fe_2O_3).* Unter dem Namen Polierrot oder Englischrot dient es als Schleif- und Poliermittel für Keramik, Glas und Edelsteine.

s. Eisenoxide

Carbide – *Verbindungen des Kohlenstoffs mit Metallen, Silicium, Bor u. a.* Ihre Eigenschaften sind sehr unterschiedlich. Man kann sie in drei Gruppen einteilen, jedoch bestehen zwischen den Gruppen Übergänge:

1) salzartige C.: Sie leiten sich hauptsächlich von den Elementen der I., II. und III. Hauptgruppe des Periodensystems ab. Bei der Hydrolyse bilden sie Metallhydroxide und Kohlenwasserstoffe. Hauptvertreter ist CaC_2, das bei Hydrolyse Acetylen (C_2H_2) liefert.

2) kovalente C.: Sie lassen sich nach der Molekülgröße einteilen. Hierzu zählen solche Verbindungen wie Kohlendisulfid (CS_2), Kohlenstofftetrachlorid CCl_4, für die die Bezeichnung C. jedoch nicht üblich ist. Borcarbid*, Siliciumcarbid* können hier mit eingeordnet werden.

3) metallische C.: Sie stellen nichtstöchiometrische Verbindungen dar. In den Hohlräumen der dichtgepackten Metallgitter befinden sich die relativ kleinen C-Atome (Einlagerungsmischkristalle). Metallische C. ähneln bzgl. Leitfähigkeit, Metallglanz und Veränderlichkeit der Zusammensetzung Legierungen; sie sind jedoch meist härter und schwerer schmelzbar als die Ausgangsmetalle. Hinsichtlich der Oxydationsresistenz zwischen 500 und 2000 °C läßt sich nach *Vostovič* folgende Reihenfolge angeben: Cr_3C_2 > TiC > ZrC > VC > HfC > NbC > TaC > Mo_2C > WC. Einige von ihnen eignen sich auch für Hochtemperatur-Schutzschichten.

[64, 91, 144]

Carbonate – *Salze der zweibasigen Säure H_2CO_3.* C. sind in der Natur als Gruppe von Mineralien relativ weit verbreitet. Als Kationen können in die wasserfreien Verbindungen aufgenommen werden: Mg^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Pb^{2+}, Ba^{2+} u. a.

Der Ionenradius nimmt von links nach rechts zu, wobei die Salze der ersten fünf trigonal, die der letzten orthorhombisch kristallisieren. Ca verhält sich dimorph, d. h., es kann beiden Systemen angehören. C. sind farblos, weiß oder gefärbt, Härte nicht über 5. Bei Säurebehandlung brausen sie in der Kälte oder nach Erwärmung auf. Die C. der Erdalkalien bilden die Rohstoffbasis für eine Reihe von ff. Baustoffen und sind sehr gebräuchliche *Flußmittellieferanten* für Steingutmassen, Porzellan-, Steingut- und Irdenglasuren. Sie zerfallen im Brand in Metalloxid und CO_2. Für die Entsäuerungstemperatur gelten folgende Richtwerte:

$CaCO_3$ = 900 bis 1000 °C,
$MgCO_3$ = 500 bis 550 °C,
$BaCO_3$ = 1300 bis 1450 °C,
$MnCO_3$ = 500 bis 600 °C,
$SrCO_3$ = 800 bis 900 °C,
$MgCa(CO_3)_2$ = 550 bis 600 °C und 900 bis 1000 °C

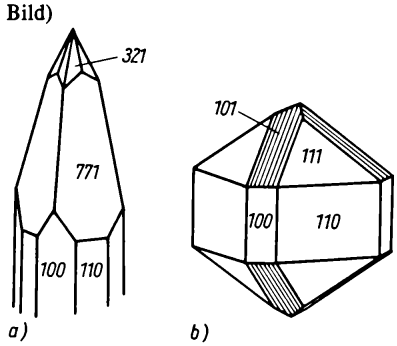
(die Mg- und Ca-Anteile dissoziieren getrennt). In einer keramischen Masse haben die noch anwesenden Komponenten Einfluß auf die Zersetzungstemperatur.

Carborundum – *s.* Siliciumcarbid

Cassiterit (Zinnstein SnO_2; griech.: kassiteros = Zinn)

Chemische Zusammensetzung: 78 % Sn mit meist isomorphen Beimengungen von Fe^{3+}, Fe^{2+}, Nb, Ta, Ti, Mn, Zr, W; in Säuren unlöslich.

Kristallographie: tetragonal, isotyp* mit Rutil*, (s. Bild)



Kristallformen von Cassiterit [8]
a) stenglig (Cornwall- oder cornischer Typ)
b) gedrungen (Altenberger Typ)

Physikalische Eigenschaften: meist bräunlich; $H = 7$; $D = 6{,}8$ bis $7{,}1\ g\ cm^{-3}$

Genese: Primär (als Bergzinn) im postmagmatischen Bereich granitischer Intrusionen, sekundär (als sog. Seifenzinn) in fluviatilen Seifenarealen angereichert; hauptsächliche Förderländer sind Malaysia und Indonesien mit den Inseln Bangka und Billiton.

In reiner Form ist C. das traditionelle Weißtrübungsmittel. Das thermisch und chemisch stabile Gitter des C. wird als Wirtsgitter* für Farbkörper* genutzt, z. B.:

$(SnV)O_2$ = Zinnvanadingelb/Scharffeuergelb
$(SnSb)O_2$ = Zinngrau, Zinnantimongrau

$(SnCr)O_2$ = Pink, Zinnchrompink (Cr^{3+} ist in dieser Verbindung diadoch für Sn^{4+} gebunden).

[8, 336]

Cassiterit-Keramik – *Stannokeramik, Werkstoffe auf der Basis von SnO_2.* Nach der üblichen keramischen Technologie aufbereitete Pulver werden entweder schlickergegossen oder isostatisch verpreßt. Der Brand erfolgt oxydierend.

C. zeichnet sich durch geringe Wärmedehnung, gute *TWB* und hohe Korrosionsfestigkeit gegenüber leichtschmelzenden Gläsern aus und findet deshalb Verwendung als Schutzanstrich in Glaswannen bei wenig korrosionsfesten Werkstoffen. Als Elektrodenmaterial weist sie, nach Dotierung mit Oxiden der Wertigkeit >4, eine gute elektrische Leitfähigkeit auf, die mit steigender Temperatur noch zunimmt.

Der hohe Preis und die leichte Reduzierbarkeit zu SnO bei Temperaturen um 1300 °C schränken ihre Verwendung ein. [168]

Celsian (Bariumfeldspat, $Ba[Al_2Si_2O_8]$)

Kristallographie: monoklin; spaltbar wie Orthoklas*

Physikalische Eigenschaften: farblos, durch Beimengungen von Eisen- oder Manganoxid rot bis schwarz; $H = 6$; $D = 3{,}31$ bis $3{,}37\ g\,cm^{-3}$

[8]

Cermet (engl.: **ce**ramics **met**als) – *Mischungen von Metallen mit keramischen Phasen.*

1) Oxid-C.

Die resultierenden Eigenschaften liegen im allg. zwischen denen der einzelnen Komponenten. Ein besonderes Merkmal ist die hohe mechanische Festigkeit der C. Dabei kommt der Haftung an den Grenzflächen Metall – Oxid entscheidende Bedeutung zu. Die physikalische Haftung hängt von der Benetzung ab, während sich die chemische durch Anoxydieren des Metalls verbessern läßt. Ein bekanntes C. setzt sich aus 70 % Al_2O_3 und 30 % Chrom zusammen. Die unter hohen Drücken (≈400 MPa) hergestellten Preßlinge werden in einer H_2/H_2O-Atmosphäre bis 1700 °C gesintert. $D = 4{,}65\ g\,cm^{-3}$; $\alpha_{20\,bis\,1000} = 8 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$; oxydationsbeständig bis 1500 °C.

2) Hartstoff-C.

Dies sind Mischungen von Carbiden, Boriden, Siliciden, Nitriden und Bindemetallen.

C. werden eingesetzt in Strahlturbinen, als Bremsbeläge. Thermoelementschutzrohre, Schneidplättchen u. a.

Ceroxid (CeO_2) – *schwach gelbliches Pulver*, das durch Glühen an Luft von Cerverbindungen flüchtiger Säuren bei 700 bis 1000 °C gewonnen wird.

C. kristallisiert kubisch nach der Fluoritstruktur*; $D = 7{,}3\ g\,cm^{-3}$.

Technische Bedeutung: Festkörperelektrolyt*, Rohstoff für gutdeckende, hochtemperaturbeständige keramische Überzüge, Poliermittel.

Chalcedon (SiO_2) – *Varietät des Quarzes.*

Kristallographie: trigonal; im Dünnschliff oft radialfaserige Textur

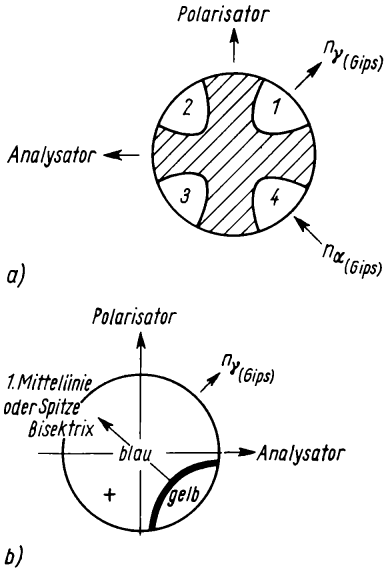
Physikalische Eigenschaften: verschiedenste Farben und Tönungen; $H = 6{,}5$ bis 7; $D = 2{,}57$ bis $2{,}63\ g\,cm^{-2}$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}530$, $n_\varepsilon = 1{,}538$, $\Delta n = +0{,}008$; oberhalb 850 °C rascher Übergang in Cristobalit

Einige charakteristisch gefärbte Ch. haben eigene Namen: *Plasma* (grün), *Chrysopras* (apfelgrün), *Heliotrop* (grün mit roten Punkten). *Achate* bestehen aus unterschiedlich gefärbten Chalcedonschichten.

Chantilly – *Porzellanmanufaktur in Frankreich* (etwa 1725 bis 1800). Bis zur Mitte des 18. Jh. wurden die Gefäßformen nach japanischen Vorbildern gestaltet, später machte sich der Einfluß Sèvres geltend. Eine Besonderheit des Chantilly-Porzellans ist die Verwendung der Zinnglasur.

Charakter, optischer – *Vorzeichen der Doppelbrechung von Kristallen.* Man bezeichnet einen optisch einachsigen Kristall als positiv, wenn die Brechzahl des außerordentlichen Strahls ε größer ist als die des ordentlichen Strahles ω, und als negativ, wenn $\varepsilon < \omega$. Optisch zweiachsige Kristalle sind positiv, wenn die erste Mittellinie oder spitze Bisektrix der Richtung der größten Lichtbrechung (n_γ) entspricht, andernfalls sind sie negativ. Ihr o. C. wird mit Hilfe von Kompensatoren bei konoskopischer Betrachtungsweise bestimmt (s. Konoskop). Je nach Orientierung der Schwingungsrichtung der Hauptlichtbrechungen im zu untersuchenden Kristall in bezug auf die Richtung n_γ des Kompensators (die Schwingungsrichtungen des Kompensators sind immer auf der Fassung angegeben) treten an den Achsenbildern charakteristische Farbveränderungen auf, die augenfällig in den Quadranten verteilt sind.

Stimmen bei einachsigen Kristallen (s. Bild *a*) n_γ und n_α mit den Schwingungsrichtungen des Kompensators, z. B. Gips Rot I, überein, so tritt Addi-

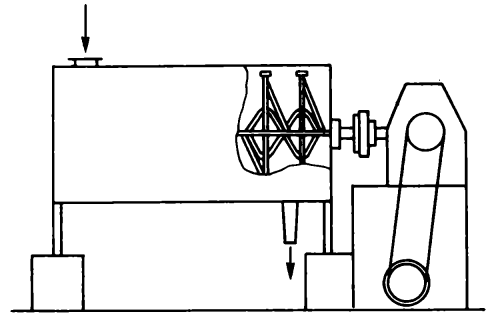


Schematische Darstellungen zur Bestimmung des optischen Charakters

tionsstellung ein, der 1. und 3. Quadrant leuchten blau auf, der 2. und 4. Quadrant gelb, d.h., der Kristall ist optisch positiv. Bei negativen Kristallen ist die Farbverteilung umgekehrt, in diesem Fall tritt Subtraktion ein. Bei optisch zweiachsigen Kristallen bringt man die Hyperbeläste in die Regelstellung (Bild *b*), dabei ist eine konvexe Seite der 1. Mittellinie (spitze Bisektrix) zugewandt. Es gilt dann die Regel: »Beim Einschieben des Kompensators mit n_γ senkrecht zur Spur der Achsenebene steigt beim positiven Kristall (Additionsstellung) die Interferenzfarbe an der konvexen Hyperbelseite bzw. fällt beim negativen Kristall (Subtraktionsstellung).«

Charge – *begrenzte Menge eines Materials*, die durch einen Arbeitsprozeß eine gewisse Vereinheitlichung erfahren hat (z. B. Menge des aus der Grube angelieferten Rohstoffs); Menge, die in einem Produktionsprozeß mit diskontinuierlicher Arbeitsweise eingeführt wird (z. B. Trommelmühle); Menge, die bei einer diskontinuierlichen Arbeitsweise als Betriebsergebnis entsteht.

Chargenmischer (Trommelmischer) – *Mischgerät zur intensiven Vermischung feindisperser Rohstoffe.* Der prinzipielle Aufbau ist im Bild dargestellt. Ch. werden mit liegendem zylinder- oder trogförmigem Mischbehälter und mit Bandschnek-



Chargenmischer

ken bzw. Gegenstromschnecken als Mischwerkzeugen ausgeführt. Derartige Mischer können in kleineren Baugrößen auch für kontinuierliches Mischen eingesetzt werden. [112]

Chelsea – *Sitz einer englischen Porzellanmanufaktur*; Gründungsjahr wahrscheinlich 1730, Blütezeit zwischen 1750 und 1765. In Form und Dekor lagen chinesische, später Meissner Vorbilder zugrunde, charakteristisch war ein sehr nach Violett neigendes tiefes Rosenrot. 1770 wurde die Manufaktur in die von Derby überführt und 1784 stillgelegt. (s. Bild)

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Chelsea

Chemcor-Prozeß – *ein von Stookey und Olcott ausgearbeitetes Verfahren zur Erhöhung der Festigkeitswerte von Gläsern durch Ionenaustausch und anschließende Oberflächenkristallisation.* Das Glas wird bei einer Temperatur oberhalb seines Transformationsintervalls in eine Schmelze von Li_2SO_4 getaucht, wobei Na-Ionen gegen Li-Ionen ausgetauscht werden. Bei nachfolgendem Tempern kann – je nach Glaszusammensetzung – eine der Pyroceram-Kristallisation identische Bildung von Eukryptit* und Spodumen* ablaufen, die wegen ihres schwach positiven bzw. auch negativen Ausdehnungskoeffizienten extrem hohe Bruchfestigkeiten erzeugen. Gegenwärtig sind noch Verfahren bekannt, die Lithium durch Natrium/Kalium austauschen.

Chemisorption (griech.: chymos = Saft; lat.:

sorbere = verschlucken) – *Aufnehmen eines Gases oder Dampfes durch einen flüssigen oder festen Stoff bei gleichzeitiger chemischer Umsetzung.*

China Clay – *ein Kaolin, der sich in der Hauptsache aus dem Tonmineral Kaolinit aufbaut.* Seine typische Zusammensetzung lautet: 47 % SiO_2, 38 % Al_2O_3, 0,8 % Fe_2O_3, 1,7 % Alakalien, 12 % Glühverlust.

Chinoiserie – *Dekorationsform des späten 17. und 18. Jh., die sich an chinesische bzw. ostasiatische und z. T. indische Zier- und Genremotive anlehnt und diese mit der europäischen Ornamentik vermischt.* Einen ersten Höhepunkt erreichte die Ch. in der keramischen Form- und Dekorgestaltung mit dem Eintritt *Höroldts** in die Meissener Porzellanmanufaktur* (1720).

Chip – *Halbleiterplättchen, »nacktes« Halbleiterbauelement; auf einer Halbleiterscheibe (z. B. metall. Silicium) nach der Schichttechnik* oder Halbleiterblocktechnik hergestellter integrierter Schaltkreis.* Die Fläche eines Ch. bewegt sich in der Größenordnung von 1 mm^2, die Dicke bei Zehntelmillimetern. Schaltkreis und Anschlüsse befinden sich auf der einen Seite der Fläche, die Grundelektrode bildet bei Dioden und Transistoren die andere Seite. Unter dem Mikroskop zeigen Ch. bei senkrechter Beleuchtung infolge Interferenz der Lichtwellen verschiedene Farben; die Ursache liegt an der Reflexion der Lichtwellen einmal an der SiO_2-Oberfläche und zum anderen an der darunter liegenden dünnen Si-Fläche. Die dünne SiO_2-Schicht* dient bei der Herstellung als Diffusionsmaske. Sie hat über den ehemaligen Diffusionsfenstern unterschiedliche Dicken, so daß die verschiedenen Farben gleichzeitig die verschieden dotierten Gebiete anzeigen.

Chlorite (griech.: chloros = grün) – *ein Vierschicht-Mischkristall-System, das aus Talkschichten und zwischengelagerten (Mg, Fe)$(OH)_6$-Oktaederschichten besteht.* Es wird chemisch durch die Komponenten Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+} und Al^{3+} bestimmt. Entsprechend wird unterschieden:
- Talk-Chlorite (Mg^{2+}-reich),
- Ferro-Chlorite (Fe^{2+}-reich),
- Ferro-Ferri-Chlorite (Fe^{3+}-reich).

Wirtschaftlich wichtig sind die Talk-Chlorite und die Ferro-Ferri-Chlorite. Treten letztere in großen Mengen auf, stellen sie ein wichtiges Eisenerz dar, so z.B. der Thüringit (benannt nach den Lagerstätten in Thüringen). [8]

Chromatographie (griech.: chroma = Farbe) – *physikalisch-chemisches Verfahren zur Trennung von gasförmigen oder gelösten Verbindungen für analytische oder präparative Zwecke auf der Basis von Differenzen in der Adsorbierbarkeit oder Löslichkeit.* Eine bewegliche (mobile) Phase wandert über eine unbewegliche (stationäre) und transportiert dabei die zu trennenden Stoffe mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Als stationäre Phase dienen Papier, γ-Al_2O_3, Kieselgel, Stärke u. a., als mobile werden meist organische Lösungsmittel herangezogen. Auf der stationären Phase erfolgt eine unterschiedliche Verteilung der zu trennenden Stoffe; die sich ständig wiederholende Verteilung bewirkt so einen kontinuierlichen Trennprozeß. Die Ch. hat eine hohe Empfindlichkeit, d. h., es werden nur kleine Analysenproben (µl, µg) benötigt; der apparative Aufwand ist gering. Nach der Art der Trennung und Durchführung unterscheidet man Adsorptions-, Ionenaustausch-, Papier-, Gaschromatographie u. a.

Chromboride (CrB_2)
Kristallographie: hexagonal
Physikalische Eigenschaften: $H \approx 9$; $D = 5{,}6$ g cm^{-3}; $T_s = 2\,200$ °C
Weitere C. sind: Cr_3B_4, CrB_3, Cr_5B_3, Cr_2B, Cr_4B; ihre Dichte liegt bei 5,8 bis 6,3 g cm^{-3}; die Zersetzungstemperatur bei 1 750 bis 2 050 °C.
Verwendung: Material in Cermets und Skelettkörpern für Tränklegierungen; letztere zeichnen sich durch hohe Biegebruchfestigkeit aus, allerdings ist ihre Zunderbeständigkeit nicht allzu hoch.

Chromcarbid
1) Tetrachromcarbid, Cr_4C (genauere Formel: $Cr_{23}C_6$)
2) Heptachromtricarbid, Cr_7C_3
3) Trichromdicarbid, Cr_3C_2
Kristallographie: **Cr_4C** – kubisch; **Cr_7C_3** – hexagonal; **Cr_3C_2** – orthorhombisch
Physikalische Eigenschaften: **Cr_4C** – $H = 7$; $D = 6{,}95$ g cm^{-3}; $T_s \approx 1\,550$ °C; **Cr_7C_3** – $D = 6{,}85$ g cm^{-3}; $T_s \approx 1\,780$ °C; **Cr_3C_2** – $H = 8$ bis 9; $D = 6{,}68$ g cm^{-3}; $T_s \approx 1\,920$ °C
C. sind chemisch sehr resistent, werden von Laugen und oxydierenden Säuren kaum angegriffen.
Verwendung: für Hartmetall und Cermets.

Chromerzsteine – *chemisch neutrale, ff. Baustoffe* von der ungefähren chemischen Zusammensetzung: 35 bis 45 % Cr_2O_3, 10 bis 25 % MgO, 10 bis 20 % Fe_2O_3, 10 bis 20 % Al_2O_3, < 2 % CaO. Als

Rohstoffe kommen außer Chromerz (Chromspinell) Magnesit, Bauxit, Tonerde, Korund und Quarzit in Betracht, als Bindemittel Ton/Kaolin, Kalkmilch u. a. Von entscheidendem Einfluß auf die Qualität ist der Kornaufbau. Als günstigste Abstufung haben sich 45 % Feinkorn, 10 % Mittelkorn und 45 % Grobkorn erwiesen. Die Sintertemperatur liegt bei etwa 1700 °C, $\varrho = 4{,}0\ g\ cm^{-3}$, $\varrho_R = 3{,}0$ bis $3{,}5\ g\ cm^{-3}$. Die Farbe ist schwarzbraun. Abgesehen vom Bursting sind C. gegen saure und basische Schlacken beständig. Wenn letztere einen sehr hohen Anteil an Kalk und Alkalien aufweisen, tritt langsame Zerstörung ein.

Chromit (Chromeisenstein, $(Fe, Mg)Cr_2O_4$) – *Mischspinell von Ferrochromit $FeCr_2O_4$ und Magnesiochromit $MgCr_2O_4$.*

Kristallographie: kubisch

Physikalische Eigenschaften: schwarz (aber brauner Strich); halbmetallischer Glanz; $H = 5{,}5$; $D = 4{,}2$ bis $4{,}6\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2\,180\ °C$; $n = 2{,}16$; meist nicht magnetisch

Er ist ein Ausgangsrohstoff für Chromerzsteine.

s. Chromspinell

Chromit-Periklas-Steine (CM) – *auf der Basis von Chromerz und Sintermagnesia aufgebaute feuerfeste Steine.* Die MgO-Anteile bewegen sich in den Grenzen von 30 bis 55 Masse-% und die Cr_2O_3-Anteile zwischen 25 und 35 Masse-%.

Physikalische Eigenschaften: $\varrho_R \approx 3{,}0\ g\ cm^{-3}$; $P = 20$ bis 25 % (Vol.); $KDF = 15$ bis 45 MPa; $t_{0,6} = 1\,500$ bis $1\,600\ °C$; $\alpha = 9{,}5 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; $\lambda_{RT} = 2\ W\ (mK)^{-1}$.

Das Verhalten der C. wird maßgeblich bestimmt von chemischer Zusammensetzung und Kornaufbau; Bursting* ist möglich.

Verwendung: v. a. in der Stahlindustrie

Chromoxide

1) Chrom(II)-oxid, CrO – schwärzliches Pulver; beim Erwärmen an Luft Übergang in Cr_2O_3

2) Chrom(III)-oxid, Cr_2O_3 – grünes amorphes Pulver; $D = 5{,}0$ bis $5{,}2\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 1\,900$ bis $2\,200\ °C$ (in Abhängigkeit von der Herstellung) oder schwarzgrüne hexagonale Kristalle; amphoter; chemisch sehr resistent; $D = 5{,}25\ g\ cm^{-3}$; $T_S \approx 2\,435\ °C$

3) Chrom(VI)-oxid, CrO_3 – nadelförmige orthorhombische Kristalle; Übergang in Cr_2O_3 über Zwischenstufen ab 200 °C; $D = 2{,}8\ g\ cm^{-3}$

Cr_2O_3 ist unter den Bezeichnungen Chromoxidgrün, Laubgrün, grüner Zinnober ein viel verwendetes Pigment, das sich durch hohe Feuerbeständigkeit auszeichnet und deshalb als Unterglasurfarbe verwendet wird. In der Glasur erzeugen 4 % Cr_2O_3 einen grünen bzw. in Verbindung mit SnO_2 einen rosaroten Farbton.

Cr_2O_3 und Cr-Verbindungen lösen sich v. a. in kaliumreichen Bleiglasflüssen in geringen Mengen auf und färben die Glasur zitronengelb. In größeren Mengen zugesetzt, ist das Grün in natriumreichen Bleiglasflüssen am schönsten.

Chromsilicid

1) $CrSi_3$ – hexagonal; $D \approx 4{,}4\ g\ cm^{-3}$; $T_S \approx 1\,570\ °C$

2) Cr_3Si – $T_S \approx 1\,710\ °C$

3) Cr_3Si_2 – $T_S \approx 1\,560\ °C$

4) CrSi – $T_S \approx 1\,545\ °C$

5) $CrSi_2$ – $T_S \approx 1\,570\ °C$

C, zeichnen sich durch hohe *TWB* aus.

Chromspinell ($(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$) – unter dieser Formel kommen in der Natur eine Reihe von Mineralarten vor, die sich äußerlich gleichen und nur durch die chemische Analyse unterschieden werden können.

Kristallographie: kubisch

Physikalische Eigenschaften: schwarz; $H = 5{,}5$ bis 7,5; $D = 4{,}0$ bis $4{,}8\ g\ cm^{-3}$; $n = 2{,}07$ bis 2,16

Die bekanntesten Vertreter sind: Chromit, Magnochromit $(Mg, Fe)Cr_2O_4$, Alumochromit $Fe(Cr, Al)_2O_4$.

Chrysotil ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; griech.: chrysos = Gold, tilos = Feuer) – Asbest, Faserserpentin, Serpentinasbest (im Gegensatz zu den Hornblendenasbesten).

Kristallographie: monoklin; spaltet in sehr festen Fasern bis zu 0,1 µm Dicke

Physikalische Eigenschaften: grünlichgelb mit Goldtönung; $H = 3$ bis 4; $D = 2{,}5$ bis $2{,}6\ g\ cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}508$ bis 1,561, $n_\beta = 1{,}512$ bis 1,567, $n_\gamma = 1{,}522$ bis 1,568, $\Delta n = +0{,}007$ bis $+0{,}014$; $2V = 30$ bis 35°

Verwendung: alkalibeständiges und ff. Isolationsmaterial, Verarbeitung zu ff. Gewebe, Bremsbeläge, Filtermaterial

Clair de lune – *mit Cobaltverbindungen gefärbte »mondscheinfarbene« (yue bai) bläuliche Glasur* chinesischer Gefäße der Song- und Quing-Zeit.

Cobaltdekoration – *eine tiefblaue Dekoration bei Porzellan auf und unter der Glasur bzw. auch als Inglasurdekor.* Neben der ausgesprochenen Unterglasurmalerei wird z. B. glasiertes glattgebranntes

Porzellan mit einem Cobaltpräparat gespritzt, das aus Cobaltsilicat oder -aluminat, einem Fluß (Feldspat, Glasur oder Bortrioxid) sowie Terpentin- und Dicköl besteht, und dann in einem zweiten Glattbrand bei 1 320 bis 1 350 °C aufgeschmolzen (»Scharffeuercobalt«). Die Farbe »sinkt« (diffundiert) in die erweichende Glasur ein und ist dadurch sehr haltbar. Bekannt ist auch eine Malerei zwischen zwei Glasuren, wie sie beim Königsblau der Manufaktur Sèvres angewendet wurde. Außerdem gibt es cobaltgefärbte leichtschmelzende Steingutglasuren.

Cobaltverbindungen können als starke Flußmittel ein Abfließen der Glasur, Verschwimmen der Konturen u. a. zur Folge haben (Abhilfe durch entsprechenden Zusatz von Tonerde, Kaolin, Quarz u. a.). Eine zu dicke Farblage, ein nicht hart genug verglühter Scherben, ein zu scharfer oder zu langer Brand verursachen entsprechende Fehler.

Cobaltverbindungen

1) Die wichtigsten Verbindungen für keramische Farben sind:

- Cobalt(II)-oxid CoO, ein olivgrünes Pulver, das in Säuren löslich ist,
- Cobalt(III)-oxid Co_2O_3, ein braunschwarzes Pulver, das in Wasser und Säuren löslich ist,
- Cobalt(II, IV)-oxid Co_3O_4 bzw. $Co_2^{II}[Co^{IV}O_4]$, ein schwarzes Pulver,
- Cobalt(II)-carbonat $CoCO_3$.

In begrenztem Umfange werden Cobaltchloride, -nitrate und -sulfate verwendet.

2) Als Farbpigmente werden herangezogen:

- Cobaltblau oder Thenards Blau $CoO \cdot Al_2O_3$,
- Coelestinblau oder Coeruleum $CoSnO_3$ – ein himmelblaues Pulver,
- Cobaltgrün oder Rinmanns Grün – eine feste Lösung von Cobaltoxid in Zinkoxid verschiedener Zusammensetzung,
- Smalte oder Cobaltglas – Cobalt(II)-kaliumsilicat, ein Nebenprodukt bei der Verhüttung von Cobalterzen.

Coehnsches Aufladungsgesetz – *positives Aufladen des Bestandteils mit der höheren Dielektrizitätskonstante in einem aus zwei Nichtleitern bestehenden System*.*

So erhält z. B. eine Glasfläche ($\varepsilon = 5$ bis 6) gegen Wasser ($\varepsilon = 81$) oder Glycerin ($\varepsilon = 56$) eine negative Ladung, gegen Benzol ($\varepsilon = 2$) aber eine positive Ladung. [42]

Coesit – *Hochdruckmodifikation des Quarzes*, die bei Drücken zwischen 2 und 10 GPa stabil ist.
s. System SiO_2

Colemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$)
Kristallographie: monoklin
Physikalische Eigenschaften: weiß; $H = 4$; $D = 2{,}44\ g\,cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}586$, $n_\beta = 1{,}592$, $n_\gamma = 1{,}614$, $\Delta n = +0{,}028$; $2V = 55°$
Da C. fast unlöslich in Wasser ist, wird er Rohglasuren und besonders auch Bleiglasuren als Flußmittel zugesetzt.

Copertaglasur – *farblose, durchsichtige Bleiglasur*, die in der Fayenceherstellung seit dem 16. Jh. in Italien und dann besonders in Delft (couwaert, kwaart) angewandt wurde. Sie kam als zweite Glasur über die Bemalung, um den Glanz der Farbe und Zinnglasur zu erhöhen; danach erfolgte der Glattbrand.

Cordierit (Dichroit; griech.: dichroos = zweifach, wegen seines Pleochroismus*) – $(Mg,Fe)_2Al_3$ $[AlSi_5O_{18}]$ bzw. $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$; benannt nach dem franz. Geologen *Cordier.*
Chemische Zusammensetzung: 1,5 bis 13,7 % MgO, 0 bis 15,3 % FeO, 30 bis 35,6 % Al_2O_3, 43,3 bis 51,4 % SiO_2, Substitution von Fe^{3+}, Mn, Na möglich
Kristallographie: orthorhombisch (pseudohexagonal)
Physikalische Eigenschaften: blauviolett, gelb bis farblos; $H = 7{,}0$ bis 7,5; $D = 2{,}60$ bis $2{,}66\ g\,cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}519$, 1,524, $n_\beta = 1{,}522$, 1,528, $n_\gamma = 1{,}522$, 1,528 (abhängig vom SiO_2-Anteil), $\Delta n = -0{,}003$, $-0{,}004$; $2V$ = fast 0° (d. h. fast einachsig); gelegentlich auch optisch positiv. Der lineare Ausdehnungskoeffizient beträgt nach *Vogel* und *Gugel* am Pulver: $\alpha_{20...100} = 0{,}6 \cdot 10^{-6}$; $\alpha_{20...400} = 1{,}8 \cdot 10^{-6}$ und $\alpha_{20...800} = 2{,}3 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$. C. zersetzt sich bei 1 450 °C unter Bildung von Mullit und Schmelze.

Cordieritkeramik – *eine in Anlehnung an das durch seinen sehr kleinen WAK ausgezeichnete Mineral Cordierit entwickelte Werkstoffgruppe im Dreistoffsystem $MgO-Al_2O_3-SiO_2$* mit der ungefähren Zusammensetzung 13,7 % MgO, 34,9 % Al_2O_3 und 51,4 % SiO_2.*

Die Aufbereitung, Formgebung und auch Brennführung entspricht der des Porzellans. Als Rohstoffe kommen in Betracht: Talk*, synthetischer Enstatit*, Magnesit*, Sand*, Kaolin*, Tonerde*, Feldspat*; letzterer hat die Aufgabe, das sehr

schmale Sinterintervall zu erweitern. Ein Zusatz von 2 bis 4 % Alkalioxid erweitert das Sinterintervall auf eine technisch gut beherrschbare Breite und begünstigt gleichzeitig die Selbstglasur. (Selbstglasuren zeichnen sich im allgemeinen durch einen guten Sitz aus.) Der Effekt der Selbstglasur kann zwar durch Verminderung des Al_2O_3-Gehaltes und Erhöhung von $MgO + K_2O$ noch verbessert werden, es muß jedoch eine Maximaldicke (≈25 µm) eingehalten werden, da der *WAK* dieser Schicht etwas größer als der des Scherbens ist, was dann zu Haarrissen führen würde. Grundsätzlich ist es schwer, auf die C. eine geeignete rissefreie Glasur aufzubringen.

Krause, der sich sehr intensiv mit dieser Werkstoffgruppe befaßt hat, gibt eine Zusammenfassung, die auch von anderen Autoren bestätigt wurde:

- Der *WAK* erreicht seinen Minimalwert, wenn die Masse im Dreistoffsystem $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ möglichst nahe der theoretischen Zusammensetzung des Cordierits im Stabilitätsbereich des Mullits oder im Stabilitätsbereich des Korunds liegt.
- Der *WAK* unterscheidet sich nicht von dem normaler keramischer Massen, wenn die Zusammensetzung im Stabilitätsbereich von Klinoenstatit, Forsterit* und Spinell* liegt.

C. ist in folgenden Erzeugnisgruppen anzutreffen:

- Elektrowärmekeramik: Heizleiterträger, Funkenlöschkammern, thermisches Isolationsmaterial,
- Haushalt- und Hotelgeschirr: flammenfestes Geschirr,
- Brennhilfsmittel: Schubplatten, Stützkörper, Bomse, Kassetten, Kapseln.

Eigenschaften von C. (KER 410):

Rohdichte in g cm^{-3}	≈2,2
WA in %	0
σ_z (unglasiert) in MPa	25
σ_B (unglasiert) in MPa	50
σ_D (unglasiert) in MPa	300
E-Modul in 10^3 MPa	100
WAK in 10^{-7} K^{-1}	10 bis 15
λ in W(m K)$^{-1}$	2 bis 3
TWB in ΔK	250
ϱ in Ω cm	10^{12}
Durchschlagfestigkeit in kV cm^{-1}	100
Verlustfaktor (50 Hz) tan $\delta \cdot 10^{-4}$	150...200

[110, 126, 144, 179 bis 182]

Cordoflam – *Warenzeichen für das in der DDR entwickelte kochfeste bzw. flammfeste Geschirr aus dichter Cordieritkeramik**. Es ist charakterisiert durch einen sehr kleinen *WAK*, der seine Ursache in der Kristallphase Cordierit* hat. Die Technologie ist analog der Technologie des Porzellans. Das Geschirr ist mit einer meist farblosen oder weißdeckenden, harten Spezialglasur, die in ihrem *WAK* dem Scherben angepaßt ist, versehen.

Physikalische Eigenschaften: $\varrho_R = 2{,}3$ bis 2,5 g cm^{-3}; $\alpha_{20...500} = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; *TWB* = ΔT bis 240 K bruchfrei; $\sigma_Z = 25$ bis 30 MPa; Schlagbiegefestigkeit = 16 MPa m; Weißgrad: 60 bis 68 %

[110]

Corhart-Standard-Steine – *nach den Erfinderwerken Corning Glass Works und Hartford Empire Comp. (USA-Patente 1923) benannte, aus Naturbauxiten schmelzflüssig gegossene Mullitsteine.*

Ihre ungefähre chemische Zusammensetzung (in Masse-%) ist: 75 Al_2O_3, 18 bis 22 SiO_2, 3 bis 4,5 TiO_2, 1 bis 4 Fe_2O_3, außerdem noch Anteile von Alkalien und Erdalkalien; mineralische Zusammensetzung: dicht verfilzter Mullit* (40 bis 50 %) mit Korund* (40 %) und etwa 20 % Glasphase*. Farbe dunkelgrau, nur noch gelegentliche Verwendung.

Weiterentwicklungen sind:

1) Corhart 104-Stein, Warenzeichen der Corhart Refractories Comp. (USA) für einen schmelzgegossenen Periklas-Spinell-Stein auf der Basis von MgO-Sinter, Chromerz* und CaF_2, TiO_2 als Flußmittel*. Zur Erschmelzung der Rohstoffe dienen Lichtbogenöfen. Die ungefähre chemische Zusammensetzung (in Masse-%) lautet: 56 MgO, 20 Cr_2O_3, 13 FeO + Fe_2O_3, 7 Al_2O_3, 2,5 SiO_2 und 1 CaO; die mineralische Zusammensetzung: etwa 56 Magnesiaferrit bzw. -wüstit, 37 Chromitspinell*, 6 Silicatphase, 1 Metallphase. Technische Daten: $\varrho_{roh} = 3{,}1$ bis 3,2 g cm^{-3}, *KDF* = 40 MPa, *DFB*: $t_{0,6} = 1\,580$ °C; Einsatz in Elektrostahlöfen, SM-Öfen u. a.

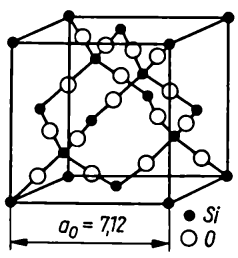
2) Corhart-ZAC-Stein, Warenzeichen der Corhart Refractories Comp. (USA) für einen schmelzgegossenen Korund-Baddeleyit-Stein mit einem ZrO_2-Anteil von 33 %. Chemische Zusammensetzung (in Masse-%): 52 Al_2O_3, 13 SiO_2, 33 ZrO_2, 0,3 MgO, 1 Na_2O, 0,4 Fe_2O_3; mineralische Zusammensetzung: 45 % Korund, 27 % Baddeleyit, 3 % Mullit, 25 % Glasphase. Technische Daten: $\varrho_{roh} = 3{,}45$ g cm^{-3}, offene Poren: 0 %,

KDF > 400 MPa, *DFB*: $t_{0,6} \approx 1\,580$ °C. Dieser Stein zeichnet sich durch einen hohen Korrosionswiderstand gegenüber geschmolzenen Gläsern aus; Verwendung als Bassinstein im Glasschmelzofenbau u. a.
[169, 258, 265, 266]

Coulter-Counter (elektrischer Meßzonen-Analysator) – *von Coulter entwickeltes Korngrößenzählgerät.* Im Prinzip werden die Unterschiede des elektrischen Widerstandes in einer stark verdünnten Dispersion beim Durchströmen einer Meßblende registriert. Schwimmen Teilchen, die einen von der Trägerflüssigkeit verschiedenen elektrischen Widerstand besitzen, durch eine von zwei Elektroden gebildete Meßstrecke, so wird ein dem Teilchenvolumen proportionaler Stromimpuls aufgenommen. Um Fehler infolge Koinzidenz zu vermeiden, muß eine Vorklassierung vorgenommen werden. Für eine Korngrößenanalyse im Bereich 0,5 bis 50 µm ist eine Zeitdauer von 30 bis 60 min anzusetzen.

Coup – *Bezeichnung für eine Flachgeschirrform* mit sehr weichem Übergang zwischen Tellerspiegel und -fahne bzw. überhaupt ohne Fahne*.

Cristobalit – *nach einem Vorkommen bei San Cristobal (Mexiko) benannte SiO_2-Form*, die sich oberhalb 1050 °C aus α-Quarz als kubischer α- oder Hochcristobalit bildet. Dieser Übergang ist abhängig von der Korngröße und den begleitenden Verunreinigungen; er geht im allgemeinen langsam vor sich und ist irreversibel. Beim Abkühlen wandelt sich α-C. im Temperaturbereich 270 bis 200 °C reversibel in tetragonalen β- oder Tiefcristobalit um. Die Übergänge sind mit Dehnung/Schwindung von 1,13 % verbunden und setzen die *TWB* keramischer Werkstoffe herab. C. kommt in Porzellan, besonders C.-Porzellan, Schamotte, Silicasteinen usw., in der Natur jedoch relativ selten vor. Das Bild zeigt die Elementarzelle des α-C.
s. System SiO_2



Elementarzelle des Cristobalits (nach *Strunz*)

Curietemperatur

1) Temperatur, bei der Ferro- und Ferrimagnetika ihre magnetische Ordnung verlieren und in den sog. paramagnetischen Zustand übergehen.
Bei Ferritwerkstoffen ist diese Erscheinung im allg. reversibel, d. h., bei Abkühlung unter die C. kehren die magnetischen Eigenschaften zurück. Die Höhe der C. ist stoffabhängig, sie beträgt z. B. für Magnetit Fe_3O_4 etwa 525 °C, für Kupferferrit $CuFe_2O_4$ etwa 480 °C und liegt für Nickelmischferrit $Ni_{1,0}Al_xFe_{2-x}O_4$ ($0 \leqq x \leqq 0{,}5$) oberhalb 400 °C.

2) In Analogie zur C. der Magnetika wird bei Ferroelektrika* ebenfalls eine C. angegeben, bei der ein Übergang vom polaren ferroelektrischen Zustand in den nichtpolaren paraelektrischen Zustand eintritt, der im allg. mit einer Phasenänderung verbunden ist.
Die Dielektrizitätskonstante* ferroelektrischer Werkstoffe hat unmittelbar in der Höhe der C. ihr Maximum und fällt oberhalb der C. stark ab.
Die Höhe der C. der Ferroelektrika ist ebenfalls stoffabhängig, sie beträgt z. B. für reines Bariumtitanat $BaTiO_3$ 120 °C, kann aber durch geeignete Zusätze in weiten Grenzen variiert werden.
Ferroelektrika werden insbesondere als Dielektrika und Piezoelektrika* verwendet; so richtet sich das technische Interesse darauf, die C. nahe der Anwendungstemperatur des betreffenden Werkstoffes zu bringen.
[239, 256]

CVD-Verfahren (chemical vapor deposition) – *Transport von Materieteilchen und Bildung eines Überzugs auf einem Substrat* durch Gasphasenreaktionen.*
Die für das CVD-V. geeigneten Stoffe enthalten Komponenten, die nach thermischer Reaktion zur Bildung einer Oberflächenschicht auf einem Substrat befähigt sind. Die abzuscheidenden Stoffe können entweder durch thermische Zersetzung einer einzigen Verbindung, z. B.
- Bildung von SnO_2-Schichten durch Zersetzung von $SnCl_4$,
- Bildung von SiC-Schichten durch Zersetzung von CH_3SiCl_3 (Methyltrichlorsilan),

oder durch Umsetzung mehrerer Reaktanten in der Gasphase, z. B. Bildung von SiC-Schichten durch Gasphasenreaktion von $SiCl_4$ und CH_4 entstehen. Der dabei ablaufende Prozeß erfolgt etwa in folgenden Stufen (*Fitzer* u. a.):

- Andiffusion reaktiver Moleküle aus dem Gasraum durch die Diffusionszone der Substratoberfläche,
- Adsorption und chemische Umsetzung der Gasmoleküle, Desorption der Nebenprodukte,
- Keimbildung auf der Oberfläche,
- Kristallwachstum und Rekristallisation (Schichtbildung).

Insgesamt ist die Schichtbildung im CVD-Prozeß von vielen Faktoren abhängig, eine schematische Darstellung gibt das folgende Bild.

Bei Erhöhung von	Geschwindigkeit der Abscheidung				Kristallisation	
	Teilschritte				Teilschritte	
	Diffusion	Adsorption	chemische Reaktion	Desorption	Keimbildung	Kristallwachstum
Temperatur	↑	↓	⬆	↑	↓	↑
$Druck_{ges}$	↓	↑		↓		
Partialdruck	↑	↑	⬆	↑	↑	↑
Strömungsgeschwindigkeit	⬆					
Oberflächenrauhigkeit				↓	↑	

Einfluß der Abscheidungsparameter auf die Teilschritte bei der CVD-Beschichtung

Eine direkte Wechselwirkung zwischen Gas und Substrat kann auch ohne Keimbildung und Abscheidung eines Niederschlags erfolgen, wenn beide eine hohe chemische Aktivität aufweisen. Die Adsorption des Gases erfolgt dann durch unmittelbare Diffusion in das Innere des Substrats. Das CVD-V. eignet sich besonders zum Auftragen von Verschleißschutzschichten (TiN, TiC u. a.), hochtemperaturbeanspruchten Schichten sowie zur Herstellung von Fasern (SiC, pyrolytischer Kohlenstoff u. a.), wobei durch geeignete Maßnahmen auch eine substratfreie Schichtenherstellung möglich ist.
[91]
s. PVD-Verfahren

Cyanit – *s.* Aluminiumsilicate

Cylpebs (griech.: kylindros = Walze, peplos = gekrümmte Fläche) – *Mahlkörper* für Rohr- und Trommelmühlen in der Form eines kleinen Zylinders (Stangenabschnitte).

D

Dachziegel – *zum Decken von Dächern bestimmte keramische Bauelemente aus Lehm, Ton oder tonigen Massen,* die frei von körnigen Beimengungen aus Quarz, Kalk, Pyrit und frei von ausblühfähigen Salzen sein müssen. D. werden bei 900 bis 1 150 °C gebrannt. Die Oberfläche kann durch Aufbringen einer Engobe verbessert werden; Glasieren ist unzulässig, da die Steine »atmen« müssen.
Die Rohdichte beträgt 1,8 g cm^{-3}; die Wasseraufnahme etwa 14 bis 18 %; Bruchlast je Stück 15 k N; Frostbeständigkeit: es werden mindestens 25 Frost-Tau-Wechsel ohne mechanische Zerstörung gefordert.
Nach der Herstellung werden unterschieden:
1) Strangziegel in Form von Plattenziegeln (Biberschwanz*), 1 Stück wiegt 1,3 kg, etwa 42 bis 45 Stück auf 1 m^2, Strangdoppelfalzziegel: 2,6 kg je Stück, etwa 15 Stück je m^2,
2) Preßziegel in Form von Muldenfalzziegeln, Doppelfalzziegel.
Außerdem kennt man noch First-, Grat- und Kehlziegel.
In neuerer Zeit werden D. in zunehmendem Maße aus Beton gefertigt; ihre technischen Parameter entsprechen denen keramischer D.

Dämpfen – *brenntechnische Maßnahme zur Erzielung einer charakteristischen silbergrauen Farbe auf der Scherbenoberfläche (z. B. von Dachziegeln).* Nach dem Garbrand werden Teer, Öl, harziges Holz u. ä. zusammen mit Wasserdampf in den Ofen eingebracht. Die sich zersetzenden Kohlenwasserstoffe lagern Graphit in die Poren des Brenngutes ab, bei Anwesenheit von Fe_2O_3 kann es auch zur Bildung von Eisencarbid Fe_3C kommen. Die Abkühlung muß rasch und ohne Luftzutritt erfolgen.

Dauerfestigkeit – Keramische Werkstoffe weisen im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen einen ausgeprägten statistischen Dauerfestigkeitseffekt auf, d. h., bei statischen Belastungen, die unterhalb der Kurzzeitfestigkeit liegen, kann nach längerer Belastungszeit der Bruch eintreten. Auch bei quasistatischer Belastung (d. h. zeitlich nicht zu schnell veränderlicher Last-Grenzfrequenz im Bereich 1 bis 10 Hz) ist die effektive Belastungszeit und nicht die Lastwechselzahl entscheidend.

Dieser Sachverhalt kann nach *Nadler* [535] phänomenologisch beschrieben werden durch

$S = 1 - e^{-F_K \sigma^m t^v}$ für statische Belastung

und

$S = 1 - e^{-F_K \left[\int_0^t \sigma(t) \frac{m}{v} dt\right]^v}$ für quasistatische Belastung

- S Bruchwahrscheinlichkeit
- F_K Niveauparameter der Festigkeit, abhängig von der Beanspruchungsart
- σ Belastung
- m *Weibull*-Parameter für die Festigkeitsstreuung
- t Zeit (in s)
- v werkstoffspezifischer Zeiteinflußparameter.

Nach *Evans* und *Wiederhorn* [536] ist als Ursache für die Dauerfestigkeitseffekte die unterschiedliche Rißausbreitung anzusehen, die sich nach der Gleichung

$v = A K_I^n$

- v Ausbreitungsgeschwindigkeit eines vorhandenen Anrisses
- K_I Spannungsintensitätsfaktor der Bruchmechanik
- A, n Werkstoffparameter

beschreiben läßt. Mit

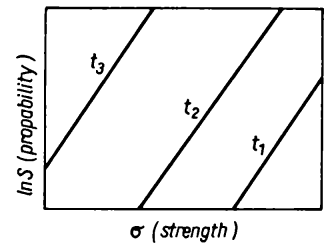
$K_I = y \sigma \sqrt{a}$ und $v = da/dt$

- y Geometriefaktor
- σ Zugspannung
- a momentane Rißgröße
- t Zeit

und unter Verwendung des Bruchkriteriums der linear-elastischen-Bruchmechanik (LEBM) $K_I = K_{Ic}$ (werkstoffspezifischer kritischer Wert von K_I) kann die Lebensdauer aus der Anrißgröße a (Fehlstellengröße) berechnet werden. Für konstante Belastung σ ergibt sich z. B.

$$t_B = \frac{2}{(n-2)\, A\, y^2\, \sigma^2\, K_{Ic}^{n-2}} = \frac{2}{(n-2)\, A\, y^n\, \sigma^n\, a_0^{\frac{n-2}{2}}}.$$

Wie die Kurzzeit- bzw. Anfangsfestigkeit ist auch die Lebensdauer statistisch verteilt. Die sich ergebenden Verhältnisse sind im SPT (strength-probability-time)-Diagramm dargestellt (s. Bild). Mit dem sog. *Proof*-Test besteht die Möglichkeit, eine bestimmte Mindestlebensdauer $t_{B\,min}$ zu sichern. Dabei wird eine Stückprüfung durchgeführt mit



SPT-Diagramm (schematisch) $t_1 < t_2 < t_3$

einer Prüflast σ_p, die in der Art der Betriebsbeanspruchung σ_B entspricht, aber im Betrag höher liegt. Aus der bestandenen Stückprüfung wird geschlußfolgert, daß für die gefährlichste Fehlstelle der Prüflinge die folgende Obergrenze existiert:

$$a_0 \leqq \left(\frac{K_{Ic}}{y\, \sigma_p}\right)^2$$

Damit ergibt sich aus der Lebensdauergleichung des unterkritischen Rißwachstums die Mindestlebensdauer

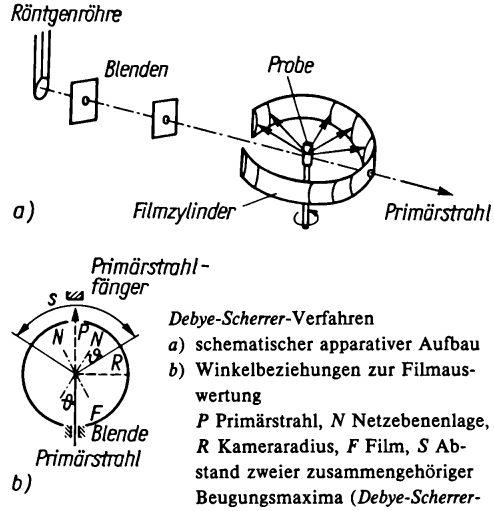
$$t_{B\,min} = \frac{2}{A\, \sigma_B^2\, y^2\, (n-2)\, K_{Ic}^{n-2}} \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_B}\right)^{n-2}.$$

[94]

s. Weibull-Theorie, Spannungsintensitätsfaktor

Dauerstandsprüfung – *s.* Warmfestigkeitsprüfung

***Debye-Scherrer*-Diagramm** (Debyogramm) – *System symmetrisch um den Primärdurchstoßpunkt liegender Interferenzringe* (s. Bild.) Der Abstand der



Debye-Scherrer-Verfahren
a) schematischer apparativer Aufbau
b) Winkelbeziehungen zur Filmauswertung
P Primärstrahl, *N* Netzebenenlage, *R* Kameraradius, *F* Film, *S* Abstand zweier zusammengehöriger Beugungsmaxima (*Debye-Scherrer*-Ringe)

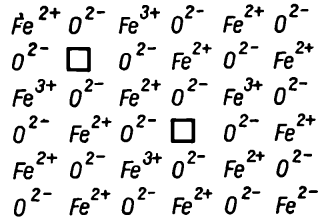
Ringe ist 2ϑ (ϑ Glanzwinkel), wenn der Durchmesser der Kammer 57,3 mm beträgt. Die Gitterkonstante kann jedoch nur bei Kristallen mit hoher Symmetrie aus dem D. berechnet werden. Für Routineuntersuchungen genügt oft zur Feststellung der Identität oder Verschiedenheit zweier Stoffe ein visueller Vergleich der Aufnahmen.

***Debye-Scherrer*-Verfahren** – *ein von Debye und Scherrer begründetes Verfahren zur Untersuchung der Feinstruktur gepulverter Stoffe mittels Röntgenstrahlen.* Eine Substanzmenge von etwa 5 mm^3 und Korngröße <15 µm wird in einem Cellonröhrchen im Zentrum einer zylindrischen Kammer justiert, an der Innenwand wird ein Filmstreifen um die Probe gelegt. Während der gesamten Aufnahmedauer wird das Präparat mit geringer Geschwindigkeit gedreht. Das D. beruht darauf, daß im Pulver immer einige Kristalle so angeordnet sind, daß sie für den auftreffenden monochromatischen Röntgenstrahl die Interferenzbedingungen (Braggsche Gleichung) erfüllen. Das so erhaltene Debye-Scherrer-Diagramm wird anschließend ausgewertet. Die Grenze für die Nachweisbarkeit der Stoffe beim D. liegt bei 3 bis 5 %.

Deckenziegel – *in der Regel Hohl- bzw. Lochsteine (Ackermann, Westphal u. a.) oder Füllsteine, die aus sorgfältig aufbereitetem Ton gebrannt werden.* Sie werden bei leichten, schall- und feuersicheren, sehr belastungsfähigen Decken, aber auch als keramische Bauelemente bei Stahlstein- und Stahlbetonrippendecken verwendet.

Defektelektron (Elektronenloch; lat.: defectio = Erschöpfung) – *ein zum positiven Stromtransport befähigtes Quasiteilchen im nahezu gefüllten Valenzband eines Halbleiters.* D. treten dann auf, wenn der Abstand des Valenzbandes zum Leitungsband klein ist und Elektronen leicht (ohne große Energiezufuhr) in das Leitungsband (Akzeptorband) übergehen können. Im Gegensatz zu der von Elektronen hervorgerufenen n-Leitung nennt man den von D. besorgten Stromtransport *p-Leitung*, *Mangelleitung* oder *Löcherleitung*.

Defektstruktur (nichtstöchiometrische Struktur; lat.: de = weg, facere = machen) – *Art von Fehlordnungen, die besonders bei Verbindungen mit Ionen, die ihre Wertigkeit wechseln können, beobachtet wird;* z. B. wird an Luft bei FeO leicht Fe^{++} zu Fe^{+++} oxydiert, als Ladungsausgleich entstehen Kationenleerstellen, d. h., es kommt zum Sauerstoffüberschuß (s. Bild).



Schematische Darstellung der Struktur von nichtstöchiometrischem FeO

Man kann auch die Stellen des Ladungsausgleichs als Elektronendefektstellen auffassen, dann sind die fehlenden oder überschüssigen Elektronen nicht mehr an ein bestimmtes Ion gebunden, sie haben daher eine gewisse Beweglichkeit, was den Widerstand solcher Verbindungen herabsetzt.

Ein entgegengesetzter Vorgang läuft beim TiO_2 unter reduzierender Brennatmosphäre ab; hier bildet sich Ti^{+++}, und es kommt zur Bildung von Sauerstoffleerstellen. Durch D. ist Halbleitung möglich.

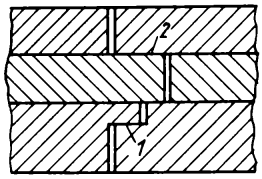
Deformation (lat.: deformare = verunstalten) – *Formänderung eines Körpers durch Krafteinwirkungen.* Man kann die D. eines Körpers nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen:

1) Ist die D. reversibel, d. h. verschwindet sie nach Beendigung der Kraftwirkung, spricht man von *elastischer D.*, andernfalls von *plastischer*.

2) Sind die Spannungen und Formänderungen nach Richtung und Größe in einem Körper gleichmäßig, spricht man von *homogener D.*, andernfalls von *inhomogener*.

Bei anisotropen Stoffen ist die D. nicht in allen Richtungen gleich groß: die Gitterkonstanten sind in den verschiedenen Richtungen ungleich (Ausnahme: kubisches System). Bei Ionen und Molekülen beobachtet man ebenfalls eine D. der Atomhülle durch Einwirken unsymmetrischer äußerer oder innerer Kräfte (Polarisation).

Dehnungsfuge – *Konstruktionselement, um Materialdehnungen beim Aufheizen von Öfen aufzufangen und damit das Entstehen von größeren Spannungen sowohl im Brennkanalmauerwerk als auch im Außen- und Dossierungsmauerwerk (abgeschrägtes Mauerwerk, Böschung) zu verhindern.* Bei mehreren Mauerwerksschichten sind die D. jeder Schicht gegeneinander versetzt (s. Bild, S. 82). Diese zusätzlichen D. werden u. U. durch Einlegen ausbrennbarer Stoffe (Pappe) geschaffen. Für eine mittlere Temperatur von 1000 °C kann die Breite der D.



Dehnfugenanordnung bei mehrschichtigem Mauerwerk, Grundriß
1 Dehnfugen-Hintermauerung
2 versetzte Fugenanordnung

bei Schamottesteinen ≈0,5 %, bei Magnesiasteinen 1,4 % der Mauerwerkslänge bzw. -breite betragen.

Dehydratation (griech.: hydor = Wasser) – *Abspaltung von Kristallwasser aus einer Verbindung/ Mineral*, z. B.

$$CaSO_4 \cdot 2\,H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot \tfrac{1}{2}\,H_2O + 1\tfrac{1}{2}\,H_2O\,.$$

Die Abgabe erfolgt in einem mehr oder weniger breiten Temperaturintervall; der dabei entstehende Stoff weist andere Eigenschaften auf. Die Abgabe von strukturell gebundenem Wasser, z. B.

$$\underset{\text{Kaolinit}}{Al_2[Si_2O_5/(OH)_4]} \rightarrow \underset{\text{Metakaolinit}}{Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2}\,,$$

wird als *Dehydroxylation* bezeichnet.
s. Wasserbindung

Dehydroxylation – *s.* Dehydratation, Wasserbindung

Dekor (lat.: decorare = schmücken) – *Verzierung (figürlich, ornamental) keramischer Erzeugnisse* mit Farben-, Bild- und Edelmetallschmuck. Es werden Einzelmotive sowie großangelegte dekorative Malerei gestaltet.

Dekoration – *Schmückung keramischer Produkte zur Erzeugung ästhetischer Effekte: farbige Glasuren*, Engoben, Schlickermalerei, Unter- und Aufglasurmalerei in Form von Linien, Rändern, Aussprengen, Sieb- und Stahldruck, Schiebebilder, Handmalerei u. a.; im weiteren Sinne auch plastische Gestaltung mit unterschiedlichen Mitteln. Man kann die D. unterteilen:
- nach der Lage des Dekors zum Scherben (Auf-, Unterglasur, Einsinkfarben),
- nach der Farbkörperresistenz (Scharffeuer, säureresistent, laugenresistent),
- nach der Anwendungshäufigkeit (Einzel-, Seriendekore)
- nach der Technik (Hand-D.. mechanische Verfahren, CVP*, PVP*).

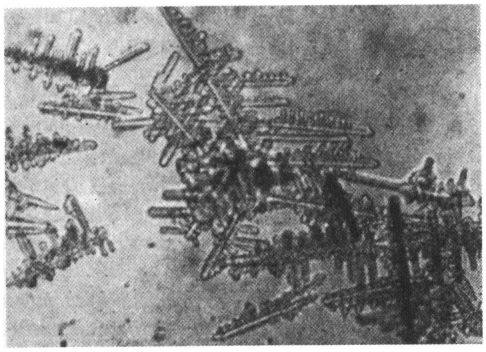
Dekorbrand – *Einbrennen der Aufglasurfarben, Edelmetallpräparate* (700 bis 850 °C) *und Inglasurfarben (≈ 1 250 °C).* Man unterscheidet:
1. Stufe – Abrauchen der Lackträgerschicht (bei Schiebebild) bei 220 bis 280 °C, Verbrennen der organischen Bestandteile bis zu 450 °C. Zu rascher Temperaturanstieg verursacht eine Reihe von Fehlern.
2. Stufe –Festbrennen, die Flußzusätze und Metalloxide reagieren mit der Glasur.
Der D. ist oxydierend, die Setzdichte muß eine gute Luftzirkulation gewährleisten.
Die verschiedenen Dekorationsarten bedingen einen getrennten D., z. B. müssen Edelmetalldekore getrennt in Glanz- und Poliergold dem D. unterzogen werden.

Dekorbrennöfen (mundartlich: Schmelze) – *elektrisch oder gasbeheizte Öfen zum Einbrennen der Aufglasurfarben, der Edelmetallpräparate und Inglasurfarben.*
Man unterscheidet:
1) Standmuffel mit 0,2 bis 1,5 m³ Nutzraum,
2) kontinuierlich arbeitende Kanal- und Doppelkanaldurchlauföfen,
3) kontinuierlich arbeitende Inglasurfarbenöfen, die eine Vorwärm-, Brenn- und Kühlzone haben.

Delfter Fayence – *eine seit 1650 um die niederländische Stadt Delft konzentrierte Fayenceherstellung, die ursprünglich als Imitation des chinesischen Porzellans gedacht war.* Durch Verbreitung des Porzellans und besonders durch das englische Steingut wurde um 1850 die Produktion eingestellt. In der Blütezeit waren die Erzeugnisse wegen ihrer charakteristischen vielfarbigen Dekoration, der Darstellungen holländischer Landschaften u. a. sehr begehrt. Die mit einer Zinnglasur bedeckten Gegenstände wurden bemalt und anschließend mit einer durchsichtigen Bleiglasur versehen.

Dendriten (griech.: dendron = Baum) – *Kristallskelette, Kristallbildungen von zweig- oder moosartigem Aussehen.* D. haben eine spezielle Wachstumsform, wenn der Kristallisationsvorgang infolge sehr schneller Abkühlung einer Schmelze oder Lösung übereilt verläuft. Die Materie lagert sich nicht geordnet an bereits vorhandene Keime an, sondern es bilden sich ständig neue Wachstumsstellen. Bei Lösungen haben die Milieufaktoren, insbesondere grenzflächenaktive Stoffe, auf die Entstehung von Dendriten Einfluß (s. Bild).

Dentalkeramik (lat.: dens = Zahn) – *Gruppe von Werkstoffen zur Herstellung von künstlichen Zähnen, Jacketkronen u. ä.* Eine dentalkeramische



Dendriten (Beispiel: Cristobalit)

Masse setzt sich etwa zu 70 bis 80 % aus Feldspat, zu 4 % aus Kaolin, zu 15 bis 20 % aus Quarzmehl, zu 0 bis 2 % aus Marmor zusammen. Außerdem werden zur Nachbildung der bei natürlichen Zähnen vorhandenen Fluoreszenz noch Schwermetalloxide (von Spuren bis wenige %) zugegeben. Diese Masse wird bei etwa 1250 °C zu einer glasigen Fritte gebrannt, anschließend gepulvert und mit Hilfe organischer Binder geformt. Nach dem Verputzen werden die Zähne mit Haltestiften (Krampons) bei 1250 bis 1300 °C gesintert. Die Sinterung erfolgt in einer Niederdruckkammer, um höchste Dichte und Festigkeit sowie gute Polierbarkeit zu erreichen. Eine weitere Methode ist die gesteuerte Kristallisation silicatischer Schmelzen.

Derby-Porzellanmanufaktur – *nach der nordenglischen Stadt Derby benannte Porzellanmanufaktur.* Gründungsjahr der D. vermutlich 1751. Nach den bekanntgewordenen Erzeugnissen unterscheidet man drei Perioden:

1) bis 1769: Nippessachen, Tierfiguren,

2) bis 1784 (durch die Übernahme der Manufaktur von Chelsea auch Chelsea-Derby-Periode genannt): gerippte Tee- und Kaffeeservices, viele künstlerisch wertvolle Stücke,

3) die sog. Crown-D., bis Anfang des 19. Jh.: Services, Vasen mit Landschaften und Blumenbuketts bemalt.

Die Marke (anfangs nur ein »D« in Kursivschrift) zeigt zwei gekreuzte Stäbe mit D und Krone.

Derivations-DTA (DDTA) – *eine in ihrer Empfindlichkeit gesteigerte DTA.* Durch eine elektronische Differenzierungseinrichtung zu den DTA-Kurven wird die erste Ableitung gebildet, wodurch auch schwach erkennbare Effekte deutlich hervortreten. Die Temperaturdifferenz zweier gleicher Substanzproben, die mit geringer zeitlicher Verschiebung erhitzt werden, wird registriert.

Derivatograph (lat.: derivare = ableiten; griech.: graphein = schreiben) – *Version eines Gerätes, das thermische Effekte einer Probe nach verschiedenen Analysenverfahren gleichzeitig registriert.* Die Kombination der ungarischen Firma MOM führt gleichzeitig differentialthermogravimetrische und differentialthermoanalytische Messungen aus; das Bild *a)* zeigt das Funktionsprinzip eines D. und Bild *b)* ein Derivatogramm (S. 84).

Desakkomodation (lat.: de = weg, accomodare = anpassen) – *zeitliche Inkonstanz der Anfangspermeabilität μ_i von Ferriten.* Sie ist definiert als die prozentuale Änderung von μ_i bzw. μ bei kleinen Feldstärken zwischen Zeitpunkten t_1 und t_2 nach vollständiger Entmagnetisierung und störungsfreier Lagerung. Bestimmt wird D. aus Induktivitätsmessungen ΔL nach

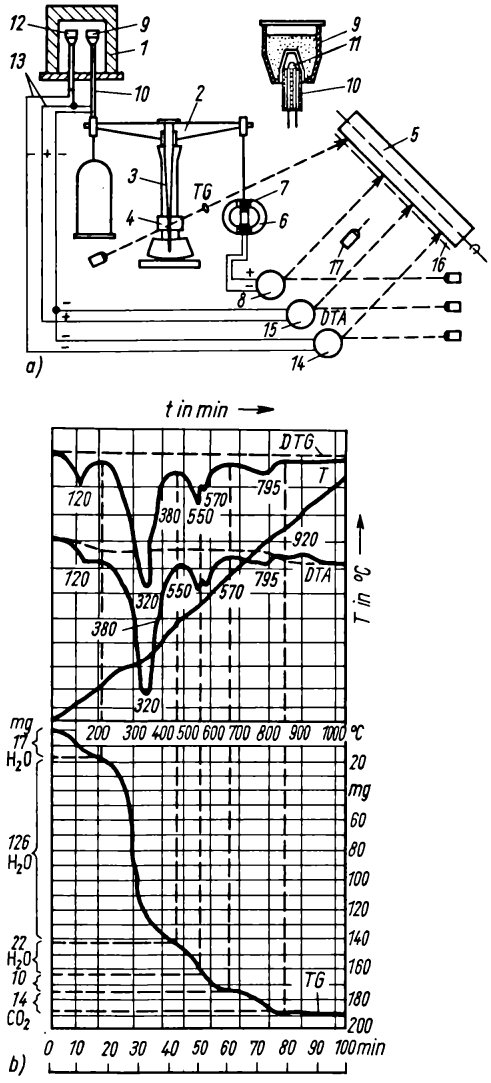
$$D = \frac{L_{t_1} - L_{t_2}}{L_{t_1}} \; 100 \text{ (in \%) bzw.}$$

$$D = \frac{\mu_{t_1} - \mu_{t_2}}{\mu_{t_1}} \; 100 \text{ (in \%),}$$

wobei die Meßpunkte t_1 und t_2 eine Zeitdekade, z. B. 30 und 300 min, nach der Entmagnetisierung umfassen sollen.

Desintegrator (Schlagstiftmühle, Schlagkorbmühle, lat.: de = weg, integrare = wiederherstellen) – *eine Schlägermühle zur Mittel- und Feinzerkleinerung weicher bis mittelharter Stoffe.* Das Schlagwerk besteht aus konzentrisch angeordneten Stabkreisen, die abwechselnd auf zwei gegenläufig rotierenden Wellen befestigt sind. Der Abstand der Stäbe nimmt zum äußeren Kreis hin ab. Das Aufgabegut wird dem inneren Stabkreis zugeführt und durch Zentrifugalkräfte nach außen befördert. Die Mühlen sind sehr empfindlich gegenüber Metallteilen. (s. Bild, S. 84)

Destillationskolonne (lat.: destillare = herabtropfen) – *turm- oder säulenartige Apparaturen zur Destillation.* Das untere Ende einer D. wird Sumpf, das obere Kopf genannt. Entsprechend den eingebauten Böden unterscheidet man *Gitterrost-, Siebboden-* und *Glockenkolonnen.* In *Füllkörperkolonnen* werden anstelle von Böden Füllkörper gegeben. D. aus Hartporzellan zeichnen sich durch hohe Korrosionsbeständigkeit sowie hohe Abriebfestigkeit aus und können von mäßigem Überdruck bis



a) Funktionsprinzip des Derivatographen

1 Elektroofen	*9* Tiegel mit Probe
2 Waage	*10* Doppelkapillarrohr
3 Zeiger	*11* Thermoelement
4 Beleuchtungsspalt	*12* Tiegel mit Inertsubstanz
5 Registrierwalze	*13* Thermoelement
6 Dauermagnet	*14, 15* Galvanometer
7 Spule	*16* Schablone
8 Galvanometer	*17* Lampe

b) Derivatogramm eines ungarischen Bauxits
DTA differentialthermoanalytische Kurve
DTG differentialthermogravimetrische Kurve
TG thermogravimetrische Kurve

Feinvakuum bei Temperaturen bis 120 °C eingesetzt werden.

Deutsche Blumen – in der Porzellanmalerei Bezeichnung für die mehr- oder einfarbige (Purpur, Blau, Eisenrot, Grün) Wiedergabe einheimischer Blumen (u.a. Rose, Vergißmeinnicht, Nelke, Narzisse, Stiefmütterchen), im Gegensatz zu den indianischen Blumen. Diese Art der Malerei begann zuerst in Wien um 1725 und zehn Jahre später in Meißen.

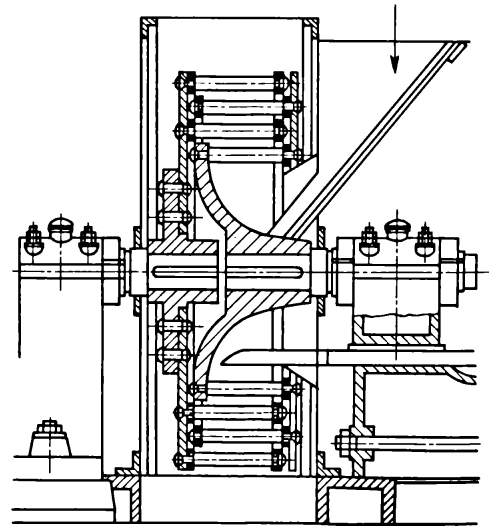
Dextrin – *wasserlösliche, aus Glukoseresten aufgebaute, dem Gummiarabikum ähnliche Polysaccharide.* D. wird Massen, besonders auf Tonerde- und Talkumbasis, Engoben und Glasuren als Binder zugesetzt. Es bewirkt ein festes Haften von Unterglasurfarben auf dem verglühten Scherben und steift die Malerfarben an.

Dezibel (dB) – *Kennwort, das dem mit 10 multiplizierten Wert des dekadischen Logarithmus vom Verhältnis zweier gleichartiger Intensitätsgrößen (z. B. elektrische Leistungen, Schallintensitäten u. ä.) hinzugefügt wird.* Das D. wird wie eine Einheit gebraucht, obwohl das Verhältnis dimensionslos ist. Das eigentliche Grundmaß Bel ist ungebräuchlich.

Für das Verhältnis (L) zweier Leistungen (P) gilt:

$$L = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}.$$

Aufgrund dieser Definition erhält man anstelle



Schlagkorbmühle

großer Verhältniszahlen kleine Zahlenwerte ($P_2/P_1 = 1$ entspricht $L = 0$ dB; $P_2/P_1 = 100$ entspricht $L = 20$ dB; $P_2/P_1 = 10\,000$ entspricht L = 40 dB). Mit der Angabe des logarithmischen Verhältnisses von Schallintensitäten oder Beleuchtungsstärken trägt man der Erfahrung Rechnung, daß die Empfindungsstärke des Menschen für Lautstärke (auch für Helligkeit) nicht der Reizstärke proportional ist. Verdoppelt man z. B. die Schallstärke oder die Reizstärke eines Tones, so empfindet man diesen Ton nicht doppelt so laut, sondern nur ein wenig lauter.

Diadochie (griech.: diadochos = Nachfolger) – *eine Form der Fehlordnung, bei der sich einzelne Ionen in geringem Umfang, bezogen auf die Hauptelemente, in einem Kristall/einer Verbindung gegenseitig vertreten können.* Die sich gegenseitig ersetzenden Elemente dürfen in ihrer Größe max. 15% voneinander abweichen. In den sog. diadochen Reihen sind die Elemente zusammengefaßt, die sich häufig ersetzen. Bei Silicaten sind das

für Si^{4+} – Al^{3+}, B^{3+},
für Al^{3+} – Fe^{3+}, Cr^{3+},
für Na^{+} – Ca^{2+},
für Mg^{2+} – Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Li^{+},
für OH^{-} – F^{-}.

Spurenelemente sind ebenfalls diadoch in das Wirtsgitter* eingebaut.

Diamant (griech.: adamas = unbezwingbar) – *Mineral und synthetisch; kubische Modifikation des Kohlenstoffs.*

Physikalische Eigenschaften: blaßgelblich, selten wasserklar; $H = 10$; $D = 3{,}50$ bis $3{,}52\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* für rotes Licht $n = 2{,}407$ (B-Linie) und 2,465 für violettes Licht (H-Linie), d. h. eine Dispersion von 0,058. Hohe Brechzahl und Dispersion bedingen das Feuer des D.

Die Masseangabe erfolgt in Karat (1 Karat = 200 mg). Synthetisch werden D. nach der Hochdrucksynthese bei Drücken von 6 bis 15 GPa und Temperaturen von 1 200 bis 2 500 °C aus Graphit unter Anwesenheit metallischer Katalysatoren hergestellt.

Synthetische D. werden nur als Industrie-D. verwendet, eine sehr gebräuchliche Anwendung sind D.-Schleifkörper. Diese bestehen aus einem Tragkörper (Leichtmetall u. a.) mit einem Schleifbelag, der D.-Trägerschicht aus Bronze oder Kunstharz, in der der D.-Staub als D.-Konzentration eingebettet ist, d. h., das Mischungsverhältnis von D. und Bindemittel ist abhängig vom Schleifverhalten und von dem zu bearbeitenden Material. In der keramischen Industrie wird im allg. eine 100%ige Konzentration angewendet; 100% entsprechen 4,4 Karat je cm^3 Bindungsmaterial. Handelsübliche Konzentrationen sind: 25, 50, 75, 100, 125, 150%.

Diaphan-Technik (griech.: dia = durch, phanein = sichtbar machen) – *s.* Lithophan

Diaphragma, keramisches (griech.: dia = hindurch, phragmos = Zaun) – *poröse Steatit- bzw. Porzellanwand zwischen zwei Bereichen eines Elektrolyten**, die deren konvektive Vermischung hindert, ohne dem Strom einen wesentlich erhöhten Widerstand zu bieten.

s. Elektroden, sensitive

Diatomeen (Kieselalgen) – *eine Algengruppe, die in großer Individuenzahl im Süß- und Salzwasser verbreitet ist;* ihre Kieselsäurepanzer sinken auf den Boden der Seen und bilden locker aufgebaute Gesteine, die als *Kieselgur* oder *Diatomeenerde* bezeichnet werden. Verwendung finden sie als wärmedämmendes Material.

Dichroismus (griech.: dis = zweimal, chroma = Farbe) – *eine spezielle Form des Pleochroismus von optisch einachsigen Kristallen.* Entsprechend ihren zwei Hauptbrechzahlen zeigen die Kristalle zwei Achsenfarben.

Dichte

1) Reindichte (ϱ) – stoffabhängige Größe, angegeben als Quotient aus Masse und Volumen des porenfreien Stoffes. Das gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung der D. keramischer Stoffe ist die *Pyknometermethode*: 5 bis 8 g zerkleinertes Probenmaterial werden in das Pyknometer eingewogen; anschließend wird es mit einer Flüssigkeit, die nicht mit der Probe reagiert, gefüllt und die Luft zwischen den Körnern des Pulvers durch Anlegen von Vakuum oder Kochen entfernt. Danach wird das Pyknometer vollständig mit Flüssigkeit gefüllt und im Thermostat auf die auf dem Pyknometer angegebene Temperatur gebracht. Nach dem Abkühlen der Probe wird die Flüssigkeit bis zur markierten Höhe aufgefüllt, das Pyknometer trockengerieben und gewogen. Es gilt:

$$\varrho = \frac{m_1\,\varrho_F}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

ϱ Reindichte (in $g\ cm^{-3}$)
m_1 Masse der Probe (in g)

m_2 Masse des Pyknometers mit der Probe und der Meßflüssigkeit (in g)
m_3 Masse des Pyknometers mit der Meßflüssigkeit (in g)
ϱ_F Reindichte der verwendeten Meßflüssigkeit (in g cm^{-3} bei 20 °C); für Wasser ist $\varrho = 0{,}9982$ g cm^{-3} (TGL 8941).

Einige D. enthält die folgende Tabelle.

Dichten einiger Stoffe (in g cm^{-3})

Achat	2,5...2,8	Platin	21,50
Bauxit	2,5	Porzellan	2,4...2,6
Chromit	5,10	Rutil	4,3
Cordierit	2,6	Silber	10,50
Gips	2,3...2,4	Stahl	7,8
Gold	19,3	Steinzeug	2,4...2,7
Kalifeldspat	2,5...2,6	Talk	2,6...2,8
Magnesit	3,0	Witherit	4,3
Quarz	2,65	Zirconium-dioxid	4,9...4,5
Quecksilber	13,55		

2) Rohdichte (ϱ_R) – Quotient aus dem bei 110 ± 5 °C bis zur Massekonstanz getrockneten Körper und dem Volumen einschließlich Gesamtporenraum eines Körpers in g cm^{-3}. Die Bestimmung erfolgt mit der hydrostatischen Waage. Es gilt:

$$\varrho_R = \frac{m_{tr}\,\varrho_F}{m_n - m_h}$$

ϱ_R Rohdichte (in g cm^{-3})
m_h Masse des unter Flüssigkeit von 20 ± 2 °C gewogenen Prüfkörpers (in g; 4 h Kochzeit!)
m_n Masse des mit Flüssigkeit getränkten Prüfkörpers
ϱ_F D. der zum Tränken und hydrostatischen Wägen verwendeten Flüssigkeit (in g cm^{-3}; TGL 9358)
m_{tr} Masse des bei 110 ± 5 °C getrockneten Prüfkörpers (in g).

3) Theoretische D. *(Röntgendichte)* – aus den röntgenographischen Daten der Elementarzelle und der absoluten Masse der in der Elementarzelle enthaltenen Formeleinheit berechnete D. Es gilt:

$$D_{theor.} = \frac{Z\,M_G}{N\,V_0}$$

Z Zahl der Formeleinheiten je Elementarzelle
M_G Molekularmasse bzw. Summe der Atommassen (in g)
N Anzahl der Moleküle im Gramm-Molekül (*Loschmidt*sche Zahl, $0{,}602\,295 \cdot 10^{24}$)
V_0 Volumen der Elementarzelle aus den Gitterkonstanten.

Beispiel (nach *Strunz*):

$$D_{NaCl} = \frac{4\,(22{,}898 + 35{,}453)}{0{,}602\,3 \cdot 10^{24} \cdot 5{,}640\,4^3 \cdot 10^{-24}}$$
$$= 2{,}163 \text{ g cm}^{-3}.$$

Im allgemeinen besteht zwischen der theoretischen D. und der durch physikalische Methoden bestimmten D. eine Diskrepanz: $d_{theor.} > d_{gemessen}$. Die Ursache der verschiedenen Ergebnisse kann u.a. in Baufehlern* und Fehlordnungen des betreffenden Stoffes liegen.

4) Der Kehrwert der D. wird als spezifisches Volumen bezeichnet; er gibt an, welches Volumen von der Masseeinheit des Stoffes eingenommen wird. [8]

s. Schüttdichte

Dickit – *Tonmineral**, Vertreter der Kaolinitgruppe*, hydrothermale Entstehung, bildet meist pseudohexagonale Kristalle, die Größen bis zu 1 mm erreichen.

Dicköl (Zachöl) – *Verdickungsmittel für Aufglasurfarben*, das sich durch langsames Verharzen des Terpentinöls beim Stehenlassen an Luft bildet.

Dielektrizitätskonstante

1) Absolute D.-Verschiebungskonstante oder Influenzkonstante ε_0: Im elektrischen Feld ist der Vektor der Feldstärke $\vec{E}$ dem Vektor der elektrischen Verschiebung proportional: $\vartheta = \varepsilon\vec{E}$; im MKSA-System hat die Feldstärke $\vec{E}$ die Einheit V m^{-1}, die Verschiebung ϑ die Einheit C m^{-2}, also

$$\varepsilon_0 = \tfrac{1}{4}\pi\, 9 \cdot 10^9 \text{ A s (V m)}^{-1}$$
$$= 8{,}854\,4 \cdot 10^{-12} \text{ A s (V m)}^{-1}.$$

2) Relative D. – Permittivitätszahl ε_r: Wird zwischen die Platten eines geladenen Kondensators, der nicht mehr mit der Spannungsquelle verbunden ist, ein Dielektrikum gegeben, so sinkt die Spannung U am Kondensator. Wird das Dielektrikum entfernt, so steigt die Spannung wieder auf den Anfangswert, d. h., dem Kondensator wurde keine Ladung entzogen. Durch die Einführung des Dielektrikums wurde die Kapazität des Kondensators vergrößert. Der Faktor, um den die Kapazität vergrößert wurde bzw. um den die Feldstärke in dem vom Dielektrikum erfüllten Raume kleiner wurde, wird als relative D. bezeichnet. Da die Kapazität des Kondensators $C = Q/U$ (Q Ladung) ist, kann ε_r als Quotient der Kapazität C des mit dem Dielektrikum ausgefüllten Kondensators

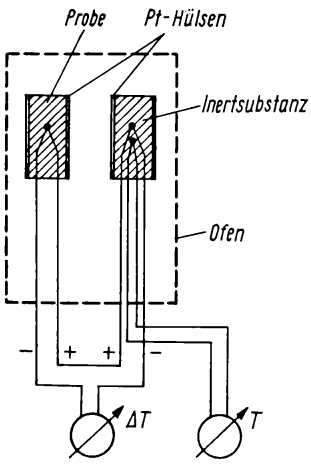
und seiner Kapazität C_0 im Vakuum definiert werden:

$\varepsilon_r = C/C_0 = \varepsilon/\varepsilon_0$.

Tabelle einiger relativer Dielektrizitätskonstanten

Glimmer	4...8	Wasser bis	
Glas	5...7	18 °C	81,1
Porzellan	4...6	Eis	3,2
Bariumtitanat-		Ethylalkohol	26
werkstoffe	>5000	Papier	
			1,8...2,5

Differentialthermoanalyse (DTA: lat.: differe = sich unterscheiden; griech.: thermos = warm) – *thermische Untersuchungsmethode, die Wärmeumsätze bei physikalischen oder chemischen Umwandlungen qualitativ und quantitativ zu messen gestattet.* Gleichzeitig und unter gleichen Bedingungen werden Probesubstanz und Inertsubstanz, die keine thermischen Umwandlungen erfährt, in einem Ofen erhitzt (s. Bild). Die sich in Probe und Inert-



Meßprinzip der Differentialthermoanalyse

substanz befindlichen Thermoelemente sind so gegeneinander geschaltet, daß die Temperaturdifferenz ΔT von Probe und Inertsubstanz gemessen wird. Solange in der Untersuchungssubstanz keine wärmeerzeugende oder -verbrauchende Reaktion abläuft, haben Probe und Inertsubstanz die gleiche Temperatur, das Meßinstrument zeigt keine Temperatur an. Finden jedoch in der Probe exo- oder endotherme Prozesse statt, so eilt die Temperatur der Probe der inerten Substanz voraus bzw. bleibt zurück. Da die Stoffe jeweils charakteristische Kurvenverläufe liefern, ist die Identifizierung möglich; schwieriger gestalten sich die Aussagen über einzelne Komponenten in Gemischen, da hier Verdünnungen durch andere Komponenten auftreten.

Differentialthermogravimetrie (lat.: gravis = schwer) – *spezielle Methode der Thermogravimetrie.* Die D. verwendet Differentialthermowaagen, die sich von den üblichen Thermowaagen dadurch unterscheiden, daß zwei gleiche Öfen vorhanden sind, in die jeweils die gleichen Proben gegeben werden. Beide Öfen werden mit gleicher Geschwindigkeit erhitzt; ein Ofen weist eine etwas geringere, aber genau festgelegte Temperatur auf als der andere. Dadurch wird es möglich, Masseänderungen feinfühliger zu registrieren.

Differenzkalorimetrie, dynamische (lat.: calor = Wärme) – *eine von Schwiete und Ziegler abgewandelte Differentialthermoanalyse.* Die Temperatur wird nicht mehr direkt in der Substanz gemessen, sondern an den metallischen Probebechern. Die gesamte Wärmezufuhr erfolgt über die Oberfläche der metallischen Hilfskörper, deren Enthalpie bekannt ist. Die Größe der Temperaturdifferenz wird bei feststehendem Wärmeinhalt der Meßbecher und die Substanz durch die Reaktionswärme der Probe bestimmt. *Vorteile* gegenüber der DTA:

1) die Wärmeleitfähigkeit der Probe beeinflußt nicht mehr das Meßergebnis,

2) die Wärmetönung ist nach Eichung meßbar,

3) die Thermoelemente werden bei Schmelzvorgängen nicht in Mitleidenschaft gezogen;

Nachteil: Geringere Empfindlichkeit und Verbreiterung der Effekte.

s. Kalorimeter

Diffusion (lat.: dis = weg; fundere = fließen) – *Massetransport in Gasen, Flüssigkeiten/Schmelzen und Festkörpern durch mikroskopische Relativbewegung der Teilchen.*

1) Die D. erfolgt spontan:

- bei Gasen durch die relativ freie Beweglichkeit der Moleküle,
- bei Flüssigkeiten durch Platzwechselvorgänge von Partikelchen atomarer, molekularer und kolloider Größenordnung,
- bei Festkörpern wandern Festkörperbestandteile und Gitterleerstellen.

Der D.-mechanismus ist entscheidend beim An-

griff von Schmelzen an ff. Baustoffen, beim Entglasen von Gläsern, beim Zersetzen von Hydraten, Carbonaten, bei Festkörperreaktionen* und Sinterprozessen*. Bei Festkörpern wird die D. in hohem Maße vom Porenvolumen beeinflußt, so bei der Infiltration von Schmelzen in feste Stoffe, bei thermischen Tränkprozessen u. a. Die D. wird durch die beiden *Fick*schen Gesetze quantitativ beschrieben. Die in der Zeit- und Flächeneinheit bewegte Materialmasse beträgt bei einem Konzentrationsgefälle bei konstanter Temperatur:

1. *Fick*sches Gesetz

$$I = -D\frac{\partial c}{\partial x}$$

I Diffusionsstrom
c Konzentration in der Volumeneinheit
x Abstand in der D.-Richtung
D Diffusionskoeffizient

Die Konzentrationsänderung in Abhängigkeit von der Zeit wird durch das 2. *Fick*sche Gesetz wiedergegeben:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}.$$

D mit der Maßeinheit $cm^2\,s^{-1}$ gilt als konzentrationsunabhängig und wird experimentell durch Verfolgung der zeitlichen und ggf. auch örtlichen Konzentrationsänderungen der interessierenden Komponenten bestimmt. Dazu werden zwei Phasen in geeigneten Ausgangskonzentrationen in Kontakt gebracht.

Die Zahlenwerte für D liegen bei Gasen für Zimmertemperatur zwischen 0,1 und $1{,}0\,cm^2\,s^{-1}$, für niedermolekulare Lösungen bei $10^{-5}\,cm^2\,s^{-1}$, für hochmolekulare Lösungen bei 10^{-8} bis $10^{-7}\,cm^2\,s^{-1}$ und für Festkörper bei $10^{-15}\,cm^2\,s^{-1}$. Allgemein ist festzustellen: D nimmt mit steigender Temperatur zu und mit steigender Mol-Masse ab. Die Temperaturabhängigkeit von D wird durch die Gleichung

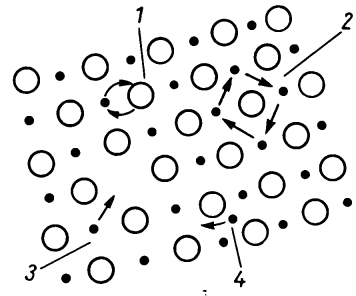
$$D = D_0 e^{-Q/RT}$$

D_0 Präexponentialkoeffizient oder Frequenzfaktor
Q Aktivierungsenergie der Diffusion
R Gaskonstante
T absolute Temperatur

beschrieben.

2) Die Triebkräfte der D. sind:
- das Konzentrationsgefälle; es strebt in einem Medium immer nach Konzentrationsausgleich (Bei Festkörpern wird der Konzentrationsausgleich durch die Affinität der Reaktanden zueinander gesteigert.),
- die Grenzflächenenergie; sie strebt für die Körper immer das Volumen mit der kleinsten Oberfläche an.

3) Diffusionsarten sind:
- Selbstdiffusion; sie entsteht bei Vorhandensein eines Dichte- oder Konzentrationsgefälles innerhalb eines Stoffes; sie versucht, dieses Gefälle auszugleichen, und endet bei der Einstellung des Gleichgewichtes,



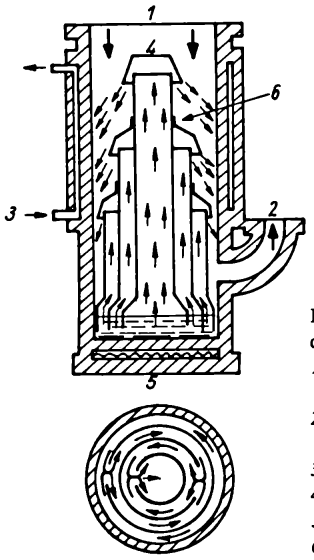
Selbstdiffusionsmechanismen
1 Kation-Anion-Platzwechsel
2 Ring-Platzwechsel
3 Leerstellendiffusion
4 Zwischengitterdiffusion

- Gegen- oder Fremddiffusion; sie läuft bei der Durchmischung zweier Stoffe ab, wobei für die Teilchen beider Stoffe ein entgegengesetztes Konzentrationsgefälle herrscht,
- Druckdiffusion; sie herrscht bei einem Druckgefälle innerhalb einer Mischung zweier Stoffe; sie sucht das Gefälle auszugleichen (Der D.-strom hängt ab von den Konzentrationen und Molekularmassen und dem D.-koeffizienten.),
- Thermodiffusion*.

[17, 23, 59, 66, 68]

Diffusionspumpe – *zu den Transportpumpen zählende Vakuumpumpe im Druckbereich 10^{-1} bis etwa 10^{-9} Pa.* In einem Siedegefäß wird ein Treibmittel durch Wärmezufuhr verdampft und über Steigrohre mit Überschallgeschwindigkeit den sog. Ringdüsen zugeführt. Die Ringdüsen richten den Dampfstrahl in den Mischraum, in welchem sich der Dampfstrom unter weiterer Geschwindigkeitszunahme ausbreitet, dabei diffundieren die abzupumpenden Gasmoleküle in den Dampfstrom hin-

ein. An der gekühlten Pumpenwand kondensiert das Treibmittel, dabei findet eine Entmischung statt. Das Treibmittel fließt in das Siedegefäß zurück; die geförderten Gasmoleküle werden von einer Vorvakuumpumpe (meist Drehschieberpumpe*) abgesaugt.
D. bestehen aus Metall, seltener aus Glas. Als Treibmittel dienen Öle mit niedrigerem Dampfdruck oder Quecksilber (s. Bild).



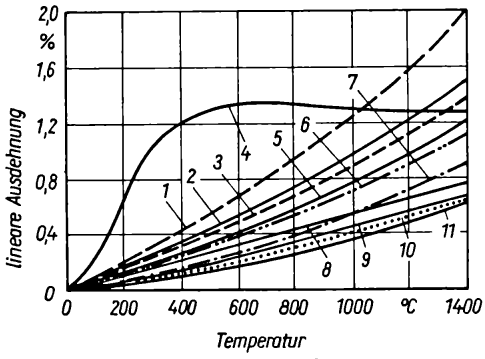
Dreistufige Öldiffusionspumpe
1 zum Rezipienten
2 Anschluß für Vorvakuumpumpe
3 Kühlwasser
4 Ringdüsen
5 Heizung
6 Mischraum

Diffusionsschweißen – *eine Form des Preßschweißens, die ein stoffschlüssiges Fügen von Nichtmetallen und Metallen mit- und untereinander ermöglicht, z. B. Piezolan* mit Metall.* Die Diffusionsschweißverbindung bildet sich, indem die Kontaktflächen der zu verbindenden Teile bei einer Temperatur T_A von 0,5 bis 0,8 T_{Schm}, bezogen auf die niedrigste Schmelztemperatur des Werkstoffverbundes, einem Druck p_A von 0,5 bis 25 MPa und in einer bestimmten Arbeitsatmosphäre (Vakuum, Schutzgas, Salzbad) einander maximal genähert werden. Durch die gleichzeitig wirksame Verformung des Mikroprofils der Kontaktoberflächen kommt es zu physikalischen und chemischen Wechselwirkungen, die zu adhäsiven Bindungen führen und die Diffusion* der Festkörperbauteilchen einleiten. Im Ergebnis dieser Reaktionen kommt es im Bereich der Kontaktzone zu neuen Festkörperstrukturen. Diese erbringen im allgemeinen einen energetisch höheren Bindungsbetrag und schaffen damit die eigentlich stoffschlüssige Verbindung. Für die diffusionsartigen Platzwechselvorgänge ist die vollständige oder teilweise Mischbarkeit der zu verbindenden Werkstoffe im festen Zustand verantwortlich. Ist eine Mischbarkeit nicht vorhanden, muß mit entsprechenden Zwischenschichtmaterialien gearbeitet werden.
Der Prozeß der D. läßt sich auf 6 Hauptphasen zurückführen, die sich im wesentlichen in ihrem physikalisch-chemischen Mechanismus unterscheiden:
1) Geometrische Vorbereitung der Fügeteile (Formgebung)
Durch mechanische Bearbeitung der Oberflächen* erhöht sich die Anzahl der null- und eindimensionalen Gitterfehler, außerdem können tribochemische* Sorptions-, Reaktions- und Diffusionsprozesse aktiviert werden.
2) Herstellen des aktiven Zustandes der Kontaktoberflächen sowie des Fügekontakts
Das bedeutet Wiederherstellung des bereits in der 1. Phase erreichten aktiven Zustandes der Kontaktoberflächen mit Hilfe bekannter Reinigungs- und Entkonservierungsverfahren; Erhöhung des aktiven Zustandes der Kontaktoberflächen durch mechanische, physikalische und/oder chemische Verfahren.
3) Aufbringen der adhäsiven Bindungsenergie
Arbeitsdruck und Arbeitstemperatur sind unter Vakuum teilweise oder voll wirksam; dabei Deformation des Mikroprofils.
4) Aktivierung der diffusionsartigen und gekoppelten Platzwechselvorgänge, Bildung von kohäsiven Bindungsenergien
Dabei können folgende Verbindungsarten entstehen: Mischkristallbildung*, schwache Mischkristallbildung, intermetallische Verbindungen*, eutektische Verbindungen, chemische Verbindungen, einphasige Verbindungen (bei gleichen Werkstoffen).
5) Thermische Nachbehandlung und Abkühlung
6) Allgemeine Nachbehandlung und Prüfung.
[192, 196]

Dilatanz (lat. dilatare = ausbreiten) – *isotrope Volumenänderung bei mechanischer Beanspruchung.* Man spricht von negativer D. bei Volumenverkleinerung und von positiver bei Volumenvergrößerung.

Negative D. beobachtet man z. B. bei der Verformung von Lehm. Die Lehmteilchen nehmen eine lockere Packung ein; bei Beanspruchung wird diese Packung zerstört, dabei nimmt die Dichte zu.
Positive D. läßt sich bei Aufschlämmungen nahezu kugelförmiger Teilchen (z. B. Sand) nachweisen. Im Ruhezustand nimmt das System die dichteste Packung ein, bei mechanischer Beanspruchung geht es in eine weniger dichte Packung über. D. ist im allg. nur ein schwacher Effekt.

Dilatometrie (lat.: dilatare = ausdehnen; griech.: metron = Maß) – *Verfahren zur Ermittlung des Dehnungs-Schwindungsverhaltens der Stoffe beim Erwärmen bzw. Abkühlen.* Bei Flüssigkeiten und Gasen wird meist die Volumenänderung, bei Festkörpern dagegen im allgemeinen an entsprechend geformten Prüfkörpern die Längenänderung $l_t = f(T)$ gemessen (s. Bild). Die dafür verwen-

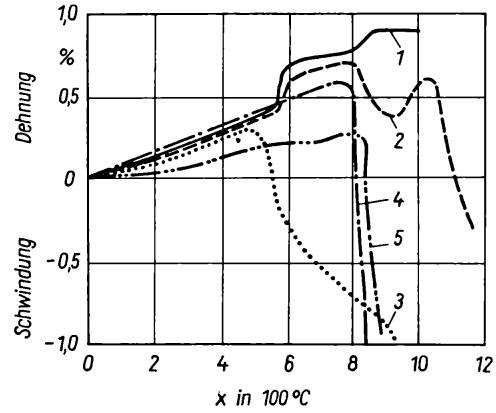


Wärmedehnung von feuerfesten Steinen
1 Magnesia
2 Chrommagnesia
3 Chromit
4 Silica
5 Zirconiumdioxid (vollstabilisiert)
6 Korund 99
7 Korund 90
8 Schamotte
9 Sillimanit
10 Zirkon
11 Siliciumcarbid

deten Geräte – Dilatometer – werden entweder linear aufgeheizt und die entstehenden Längenänderungen des Prüfkörpers kontinuierlich gemessen (sog. dynamische Verfahren), oder es wird erst nach Erreichen einer bestimmten Temperatur gemessen (statische Verfahren). Längenänderungen können nach der Interferenzmethode oder nach der Schubstangenmethode verfolgt werden. Probenhalterung und Schubstange werden aus gleichem hochtemperaturbeständigem Material (Kieselglas*, Sinterkorund*) gefertigt und so angeordnet, daß die Temperaturgradienten entlang beiden Bauteilen möglichst gleichen Verlauf haben. Eine thermische Dehnung der Probe bewirkt die relative Verschiebung der Schubstange gegen die Probenhalterung. Dieser Verschiebung wird mit verschiedenen Hilfsmitteln (kapazitiv, induktiv) in elektrische Werte umgeformt und registriert.
Da mit einem Schubstangen-Dilatometer stets nur die Differenz der thermischen Dehnung von Probe und Probenhalterung erfaßt werden kann, ist zu der gemessenen Ausdehnung noch die des Materials der Probenhalterung zu addieren, was im Normalfall einem Tabellenwerk entnommen werden kann.
Bei feuerfesten und grobkeramischen Materialien werden die Längenänderungen meist in % angegeben, dagegen wird bei fein- und strukturkeramischen Werkstoffen mit dem mittleren linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten *(WAK)* gerechnet; er ist durch die Beziehung (in K^{-1})

$$\alpha = \frac{1}{l_0}\frac{dl}{dT}$$

definiert und beschreibt die Zunahme der Längeneinheit bei einer Temperaturerhöhung um 1 K.



Typische Dilatometeraufnahmen
1 quarzhaltiges Material (z. B. als Porzellan)
2 kalkhaltiger Schluffton
3 Kaolinit
4 Illit
5 Montmorillonit

Einige typische Dilatometerkurven gibt folgendes Bild wieder. In einer Dilatometerkurve machen sich Modifikationsänderungen, chemische Reaktionen, Sintervorgänge und Schmelzvorgänge als Stufen oder Knickpunkte bemerkbar. Für detail-

lierte Aussagen müssen in diesen Fällen jedoch noch andere Untersuchungsverfahren, wie Röntgenanalyse*, DTA*, Messung der elektrischen Leitfähigkeit u. a., herangezogen werden. [271, 272]

s. Wärmedehnungskurven feuerfester Erzeugnisse (nach *Didier*: Feuerfest-Technik [562])

Diopsid ($CaMg[Si_2O_6]$; griech.: dis = doppelt, opsis = Anblick) – *Mineral der Augitgruppe*; Reaktionsprodukt zwischen Dolomit- und Silikasteinen.

Chemische Zusammensetzung: 25,9 % CaO, 18,5 % MgO, 55,6 % SiO_2; es gibt eine lückenlose Mischkristallreihe auf Grund der Diadochie $Mg^{2+}-Fe^{2+}$ mit dem CaFe Si_2O_6 = Hedenbergit. Durch Substitution des Mg können eingebaut sein: Fe^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+} und Ti^{4+} (gekoppelte Substitution mit Ca – Na oder Si – Al).

Kristallographie: monoklin (prismatisch)

Physikalische Eigenschaften: grau, schmutziggrün; Glasglanz; $H = 5{,}5$ bis 6; $D = 3{,}27$ bis 3,38 g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}664$, $n_\beta = 1{,}671$, $n_\gamma = 1{,}694$, $\Delta n = +0{,}030$; $2V = 59°$.

D. kommt vor in Schlacken, ein Abfallprodukt bei der Anreicherung von Titan-Magnetiterzen. Er kann im Hydrothermalverfahren aus gebranntem Dolomit, Branntkalk und Quarzmehl im Autoklaven bei 200 bis 250 °C in 7 bis 12 h zunächst als Silicathydrat nach der Gleichung

$$12SiO_2 + 6Ca(OH)_2 + 6Mg(OH)_2 \rightarrow 6CaO \cdot 6SiO_2 \times H_2O + 6MgO \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O + 2SiO_2 + 7H_2O$$

gewonnen werden und muß dann bei Temperaturen >1 150 °C noch calciniert werden. Zusätze von 25 bis 35 % D. zu Massen von Wandplatten verbessern deutlich die mechanisch-physikalischen Eigenschaften, mindern die Feuchtigkeitsdehnung und die Anfälligkeit zu Rissebildungen. [8, 133, 200]

Dispergator

1) Schnellaufende Maschine zur Herstellung von Suspensionen, die nach dem Prinzip der Flüssigkeitsreibung durch pulsierende Strömungen arbeitet.

Das vorzerkleinerte Material wird durch ein Laufrad beschleunigt und durchströmt einen Pulsator. Dabei werden der Flüssigkeit Druckschwingungen erteilt. Die strömende Flüssigkeit wird durch Leitschaufeln in eine axiale Rotation und in eine Torsion in den einzelnen Teilströmen gezwungen.

2) Rührwerk*.

Dispergieren (lat.: dispergere = ausstreuen) – *Anzahl von Prozessen, bei denen aus molekularen – nicht oder nur in geringem Umfang mischbaren – Stoffen auf mechanischem Wege ein System angestrebt wird, in dem die Teilchen in einer anderen zusammenhängenden Phase annähernd gleichmäßig verteilt sind.*

Je nachdem, welche Phasen ineinander verteilt werden, spricht man von Emulgieren* oder Suspendieren. In einigen Fällen wird D. erst durch Hinzuziehen von Dispergierungsmitteln* in sog. Dispergatoren möglich.

Zum D. zählt man auch das Aufschlämmen von zu einem losen Haufwerk verkitteten Filterkuchen keramischer Massen; im keramischen Sprachgebrauch ist dafür die Bezeichnung Verschlickern* üblich. Verschlickerung wird in Rührwerken* durchgeführt. [159]

s. Systeme, disperse

Dispergierungsmittel

1) Bezeichnung für die geschlossene Phase bei dispersen Systemen*.

2) Mittel zur Erleichterung des Dispergierens. D. erniedrigen die Oberflächenspannung* der geschlossenen Phase und ermöglichen dadurch eine Feinverteilung der dispersen Phase. D. sind meist grenzflächenaktive Stoffe.

s. Tenside

Dispersion

1) Feine Verteilung eines Stoffes in einem anderen, dem sog. Dispersionsmittel.

2) Spektrale Zerlegung einer Strahlung; sie wird beobachtet beim Durchgang einer Strahlung durch Medien mit verschiedenen Brechzahlen (Brechungs- und Dispersionsspektrum) und Beugung an Beugungsgittern (Beugungsspektrum).

Dispersionskeramik – *s.* Werkstoffe, umwandlungsverstärkte

Dispersitätsgrad – *nicht einheitlich definiertes Maß für den Zerteilungsgrad eines dispersen Systems**.

Als D. werden angegeben:

- die spezifische Grenzfläche als Quotient aus Volumen und Grenzfläche einer dispergierten Substanz in cm,
- die spezifische Oberfläche als Quotient aus Oberfläche des zerteilten Stoffes und Gesamtvolumen des Stoffes in cm^{-1}; in der Praxis auch häufig in $m^2\,g^{-1}$,
- der reziproke mittlere Teilchendurchmesser in mm^{-1},

– die Anzahl der in einem dispersen Teilchen vorhandenen Atome.

Dissoziation (lat. dis = auseinander, socius = Bundesgenosse) – *Aufspaltung eines Moleküls in zwei oder mehrere einfache Moleküle, Atome oder Ionen.* Man unterscheidet:

1) Thermische D. – reversibler Zerfall einer Verbindung durch Zufuhr thermischer Energie. Bei genügend großer Energiezufuhr dissoziiert jede chemische Verbindung, sofern sie sich vorher nicht zersetzt (inkonkruentes Schmelzen). Da die thermische D. endothermer Natur ist, nimmt sie mit steigender Temperatur zu. Die Temperaturhöhe der thermischen D. von Verbindungen in einem Gemenge/Masse hängt in hohem Maße von den noch vorhandenen anderen Komponenten ab; als Orientierung für reine Carbonate kann angenommen werden:

$CaCO_3$	800...1000 °C	$BaCO_3$	1300...1350 °C
$MgCO_3$	500... 550 °C	$MnCO_3$	500... 600 °C
$SrCO_3$	800... 900 °C		

2) Elektrolytische D. – reversibler Zerfall einer Lösung in elektrisch geladene Teilchen, die Ionen; diese Lösungen heißen Elektrolyte. Bei echten Elektrolyten sind die Ionen bereits im festen Zustand im Ionengitter vorhanden. Die D. besteht darin, daß die Lösungsmoleküle die Gitterbausteine solvatisieren und das zwischen den Ionen bestehende elektrische Feld abschwächen. Diese Abschwächung erfolgt um so stärker, je höher die Dielektrizitätskonstante ist. Wasser mit seiner Dielektrizitätskonstante von etwa 81 ist das beste Lösungsmittel für Elektrolyte.

Dolcarbonsteine – *auf der Basis von Dolomit* und einem Zusatz von 5 bis 10 Gew.-% Graphit hergestellte Steine,* die insbesondere zur Zustellung* von basischen Pfannen in der Sekundärmetallurgie eingesetzt werden.

D. weisen eine gute *TWB* bei erhöhter Wärmeleitfähigkeit und gute Schlackenresistenz auf. Im Metallbadbereich zeigen D. gegenüber hochtonerdehaltigen Produkten eine bessere Haltbarkeit. [560]

Dolomit ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$)

Kristallographie: trigonal

Physikalische Eigenschaften: gräulich-weiß bis gelblich-bräunlich; $H = 3{,}5$ bis 4; $D = 2{,}85$ bis $2{,}92\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}684$, $n_\varepsilon = 1{,}504$, $\Delta n = -0{,}180$; Dissoziation der $MgCO_3$-Teile bei 550 bis 650 °C, der $CaCO_3$-Teile bei 800 bis 1000 °C D. dient in Glasuren und Massen (selten) oberhalb 1000 °C als energisches Flußmittel. Als Sinterdolomit wird das oberhalb 1600 °C in Drehrohr- oder Schachtöfen erbrannte $MgO \cdot CaO$ bezeichnet, das vielfach (z. T. mit Teerbindung) zum Ausstampfen von Herden verwendet wird.

Dolomitsteine – *basische ff.-Erzeugnisse, die insbesondere in SM-Öfen, Zementdrehrohröfen u. a. eingebaut werden.* Da gebrannter Dolomit durch starke Hydratationsneigung und chemische Aktivität des Kalkes charakterisiert ist, ist die Verwendung erschwert. Man kennt folgende Gruppen von D.: *1)* reine Sinter-D., ohne Zusätze,

2) teergeschützte Sinter-D.; ihre chemische Zusammensetzung schwankt in den Grenzen: MgO 32 bis 36 %, CaO 58 bis 60 %, SiO_2 1 bis 2 %, Fe_2O_3 0,6 bis 1,2 %; ihre wichtigsten physikalischen Eigenschaften sind: $\varrho = 3{,}15$ bis $3{,}4\ g\ cm^{-3}$; $\varrho_R = 2{,}6$ bis $2{,}9\ g\ cm^{-3}$; $P = 15$ bis 20 % beim ungeteerten Stein; TWB sehr gut,

3) halbstabilisierte D. mit teilweise abgebundenem CaO (d. h. 4 bis 10 % SiO_2).

4) stabilisierte D. mit vollständig abgebundenem CaO (11 bis 16 % SiO_2); ihre chemische Zusammensetzung bewegt sich in der Größenordnung bis 45 % MgO und 32 % CaO; $\varrho \approx 3{,}4\ g\ cm^{-3}$; $P = 18$ bis 24 %; DFB: $t_a = 1650$ bis 1700 °C; TWB mäßig.

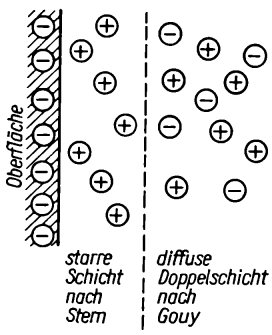
Domäne (lat.: doma = kleines Haus) – *kleinster Bereich gleicher Polarisation bei ferroelektrischen Werkstoffen in der Größenordnung von 1 µm.* D. stellen ein Analogon zu den *Weiß*schen Bezirken bei magnetischen Werkstoffen dar.

Doppelbrechung, optische – *Erscheinung, daß nichtkubische Kristalle einfallende Lichtwellen in zwei Teilwellen aufspalten, die linear und senkrecht zueinander polarisiert sind.* Man nennt die Teilwelle, die dem *Snellius*schen Gesetz gehorcht, ordentlicher Strahl (n_ω) und die Teilwelle, deren Brechungsverhalten richtungsabhängig ist, außerordentlicher Strahl (n_ε). Ergibt die Differenz $n_\varepsilon - n_\omega$ für Δn einen positiven Wert, spricht man von optisch positiven, andernfalls von optisch negativen Kristallen.

Außer der natürlichen D. kennt man noch die durch mechanische Kräfte hervorgerufene temporäre Spannungsdoppelbrechung, die durch elektrische Felder (Kerr-Effekt) und durch magnetische Felder (Cotton-Mouton-Effekt) verursachte D.

Doppelschicht, elektrische – *an den Berührungsflächen zweier Phasen in Hydrosolen sich ausbildende Ladungs- und Potentialverteilung adsorbierter bzw. orientierter Ionen und/oder Dipole.*

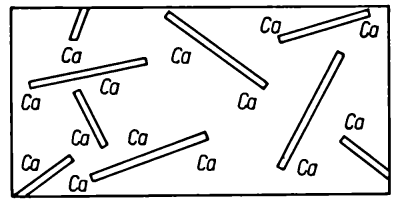
In Ton-Wasser-Systemen dissoziieren die an den Schichtsilikaten* locker gebundenen austauschbaren Kationen in die umgebende Flüssigkeit ab und umgeben sich mit einer durch Dipolkräfte koordiniert gebundenen Hydrathülle. Alkalien können 7 bis 8 Wassermoleküle, Erdalkalien bis 12 Wassermoleküle binden. Die insgesamt negative Ladung der Tonkristalle verhindert, daß sich die hydratisierten Ionen innerhalb eines gewissen Abstandes vom Kristall frei bewegen können; man spricht in diesem Zusammenhang von einer Doppelschicht. Die Herkunft der e. D. wird von *Helmholtz* physikalisch als Kondensator und von *Gouy* und *Freundlich* als diffuse Doppelschicht durch elektrolytische Dissoziation gedeutet. Die beiden Theorien anhaftenden Mängel hat *Stern* beseitigt und zur Theorie der zusammengesetzten Doppelschicht weiterentwickelt, die der Wirklichkeit am besten gerecht wird (s. Bild).



Ausbildung der Doppelschicht

Die Ausbildung von Doppelschichten erweitert beträchtlich den Abstandsbereich, in dem Wechselwirkungen zwischen benachbarten Tonkristallen auftreten.

Bei Wassergehalten von 30 bis 50 % in Tonsuspensionen und dem Vorliegen von Erdalkaliionen als austauschfähige Kationen überlappen sich teilweise die Doppelschichten der Partikelchen, d. h., Erdalkaliionen bilden keine starken Doppelschichten aus. Die durch Hydrathüllen hervorgerufene Bindung führt bei Zimmertemperatur bereits durch die Schwerkraft der Teilchen dazu, daß sich die Suspensionen gegenüber schwachen Kräften wie ein fester Körper verhalten. Unterstützt wird dieser »Aufbau« noch dadurch, daß Calciumionen oft bei zwei verschiedenen Tonkristallen »einrasten« (s. Bild).



Schematische Darstellung der Wirkungsweise von Ca-Ionen auf Kaolinit-Wasser-Mischungen (nach *H. Scholze*)

Werden Ca^{++} und Mg^{++} durch Alkalien ausgetauscht (*Hofmeister*serie*), verändert sich die Dicke der Hydrathülle. So kann z. B. eine mit Alkaliionen belegte Kaolinsuspension bereits bei etwa 30 % Wassergehalt fließen; in diesem Falle existiert kein Anlaßwert (Bildsamkeit*) mehr. Dieser als Verflüssigung der Tone (Schlicker*) bekannte Effekt ist konzentrationsabhängig: wird eine bestimmte Konzentration an Alkaliionen überschritten, so erreicht man das Gegenteil, gut fließfähige Schlicker steifen wieder an. (Es ist besonders günstig, zum Kationenaustausch solche Verbindungen heranzuziehen, deren Anionen mit den Erdalkalien schwer lösliche Salze bilden (Carbonate), oder sie sonst komplex zu binden.)

Im Zusammenhang mit der e. D. spielt das Zeta-Potential eine wichtige Rolle; es stellt die Potentialdifferenz dar, die zwischen der festanliegenden und der diffusen, lockeren Wasserschicht besteht, oder richtiger, sich bei der Bewegung eines kolloiden Teilchens im flüssigen Dispersionsmittel ausbildet. Nach dem *Coehn*schen Aufladungsgesetz* ist in wäßriger Aufschlämmung ($\varepsilon_{Wasser} = 81$) ein Tonkristall grundsätzlich negativ aufgeladen. Diese negative Aufladung läßt sich elektrophoretisch nachweisen. Nach *Hoffmann* kann das elektrokinetische Potential oder ζ (Zeta)-Potential berechnet werden:

$$\zeta = \frac{G \pi \eta v}{E \varepsilon}$$

ζ Zeta-Potential (in mV)
η Viskosität (in Pa s)
v Wanderungsgeschwindigkeit (in mm s^{-1})
E Feldstärke (in V m^{-1})
ε Dielektrizitätskonstante des Mediums (in F m^{-1}).

Das Zeta-Potential erlaubt eine Aussage über die angelagerten Kationen. Die Größe des Zeta-Potentials und damit die Dicke der Doppelschicht ist von der Anzahl der angelagerten Kationen, ihrer Größe und Ladung abhängig. Kleine Kationen mit niedriger Ladung bewirken die Ausbildung einer starken Doppelschicht und damit eines starken Wasserfilms.
Bei Kaolinit mit Ca^{++}-Belegung fand *Wittaker* eine Dicke der D. von 9 bis 16 nm, dagegen für Bentonit bis 300 nm. [17, 39, 111]

Doppelwellenmischer – *Maschine zur intensiven Mischung von trockenem oder (gruben-) feuchtem Material und Zusätzen.* In einem (u. U. beheizten) muldenförmigen Trog drehen sich gegenläufig zwei Wellen, die mit schräggestellten Mischflügeln besetzt sind. Sie mischen und fördern das Gut. Gegenmesser bremsen und zerteilen den Massestrom (s. Bild).

Dornsel – *Körper aus Hartformengips, auf den rotationssymmetrische Formlinge zum Zwecke des Verputzens und Verschwammens aufgesetzt werden.* Der D. wird in die Formenaufnahme im Scheibenkopf der Drehspindel o. ä. eingesetzt; zum Schutze gegen einen zu starken Druck durch die Hand sind auf dem D. Schaumgummiringe angebracht.

Dosieranlagen, Systemfehler von – *beim Dosieren von Mengen innerhalb der technologischen Prozesse auftretende Ungenauigkeiten.* Man unterscheidet:

1) Waagenfehler f_w
Für mechanische Waagen gelten in der DDR als Richtwerte:
- zulässige Eichfehler $\pm 0{,}6\ \mathrm{g\ kg^{-1}}$,
- zulässige Fehler im Betrieb $\pm 12\ \mathrm{g\ kg^{-1}}$ für den Wägebereich von >10 % Skalenendwert.

2) Steuerungsfehler f_S
Für die Übermittlung von Steuerbefehlen für Schaltvorgänge wird Zeit benötigt.

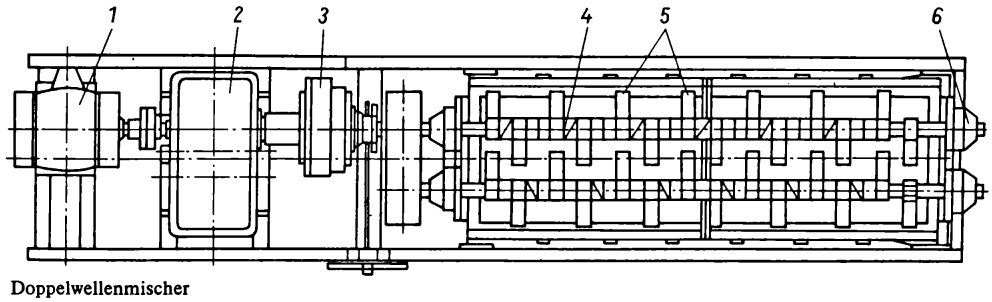
3) Entleerfehler f_E
Im Waagenbehälter können nach abgeschlossener Entleerung, besonders bei schlecht fließenden Materialien, Restfüllungen verbleiben, die die Chargenmenge verfälschen.

4) Transportfehler f_T
Zwischen Wägeeinrichtung und abnehmendem Maschinensatz können Verluste eintreten.

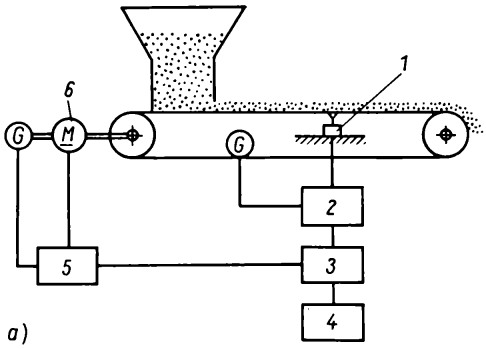
5) Dosierfehler f_D
Um die Genauigkeit zu verbessern, wird häufig eine Grob-Fein-Dosierung angewendet. Der Nachlauf wird dabei durch Vorabschaltung berücksichtigt; eine höhere Genauigkeit ist durch Nachlaufoptimierung mit Mikroprozessorsteuerung möglich.

Der Gesamtfehler des Systems wird dann
$$f = \pm\sqrt{f_W^2 + f_S^2 + f_E^2 + f_T^2 + f_D^2}\,.$$
[112, 113]

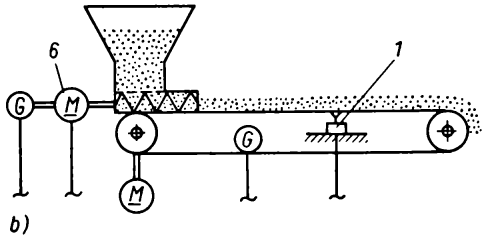
Dosierbandwaage – *Kombination von Bandwaage und über einen Regelkreis verstellbarem Dosiergerät.*
Im allgemeinen wird wegen der nicht immer genügenden Fließeigenschaften des Gutes der Mengenstrom volumetrisch grob auf das Band gegeben, d. h., man erzeugt eine schwankende Gutsbelegung. Die Mengenkonstanz wird über die Bandgeschwindigkeit geregelt, es gilt:
$$\dot{M} = A\,v\,\varrho_s$$
$\dot{M}$ Durchsatz
A Bandbelegungsquerschnitt
v Bandgeschwindigkeit
ϱ_s Schüttdichte des Gutes.



Doppelwellenmischer
1 Motor
2 Getriebe
3 Kupplung
4 Mischerwelle
5 Mischflügel
6 Lager



a)



b)

Funktionsprinzipien von Dosierbandwaagen [2.1]
a) geschwindigkeitsgeregelte Bandwaage
b) zuteilungsgeregelte Bandwaage
1 Meßzelle
2 Wägeelektronik
3 Regler
4 Sollwert
5 Leistungsverstärker
6 Stellglied

Aus

$p = \varrho_s A$

p spezifische Bandbelegung

ergibt sich

$\dot{M} = p\,v,$

und mit der Bedingung $\dot{M} = \text{const}$ erhält man $v = \text{const}/p$.

D. weisen eine hohe Genauigkeit auf, jedoch aufgrund der reibungsarmen Lagerung des Wägegestänges sind sie gegenüber Staub sehr störanfällig.

Übliche technische Daten von D. sind:

Bandbelastung $p = 0{,}10 \ldots 50\ \text{kg m}^{-1}$

Bandgeschwindigkeit $v = 0{,}3 \ldots 50\ \text{m min}^{-1}$

Genauigkeit ±0,5...1 %, bezogen auf tatsächlichen Mengenstrom (Auslastungsgrad).

[112, 113, 116]

s. Gattierungswaage

Dosieren (griech.: dosis = Gabe) – *Zuteilung vorherbestimmter Stoffmengen in einem Produktionsprozeß.*

In der keramischen Technologie ist D. erforderlich
- für die Versatzzusammenstellung, d. h. Wägen der Rohstoffe nach vorgegebener Rezeptur,
- für die Beschickung chargenweise* arbeitender Maschinen mit konstanter Menge,
- für die Zuführung eines gleichmäßigen Mengenstromes zu kontinuierlich arbeitenden technologischen Ausrüstungen.

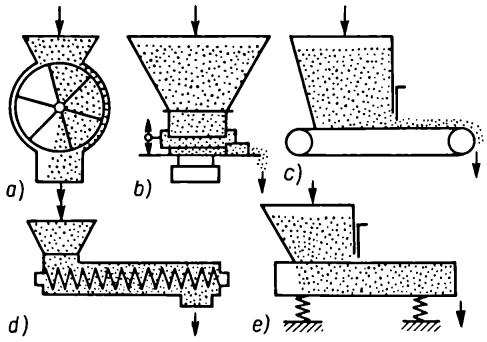
Die Arbeitsweise der Dosiertechnik ist qualitätsbestimmend für die keramischen Werkstoffe, da einmal die Einhaltung der Zusammensetzung unmittelbar die Konstanz der Eigenschaftswerte bedingt und zum anderen die Parameter von Zwischenprodukten der Fertigung von der konstanten Arbeitsweise der Maschinen abhängen.

D. kann kontinuierlich, diskontinuierlich, gravimetrisch oder volumetrisch ausgeführt werden. Die prinzipielle Auswahl des D. wird vom technologischen Hauptprozeß bestimmt, wobei als Kriterien gelten:
- fließ- und granulometrische Eigenschaften der Stoffe,
- Arbeitsweise des technologischen Prozesses,
- Anforderungen an die Genauigkeit der Beschikkung.

Kontinuierliches D. ist üblich, wenn die Maschinen im Durchlaufverfahren arbeiten, hierzu werden folgende volumetrisch arbeitende Dosiermaschinen herangezogen:
- D. mit formschlüssigem Materialtransport: Dosierschnecken, Zellenradschleusen, Förderbänder mit einstellbarem Zulauf, Kastenbeschikker*, Telleraufgeber*,
- D. mit kraftschlüssigem Materialtransport: Schwingförderer*, pneumatische Förderer*.

Einige prinzipielle Arbeitsweisen von Dosiergeräten zeigt das folgende Bild.

Diskontinuierliches D. wird dann angewendet, wenn es auf hohe Genauigkeit ankommt; prinzipiell



Prinzipien kontinuierlicher Dosiergeräte
a) Zellenradschleuse *d*) Dosierschnecke
b) Drehteller *e*) Schwingaufgeber
c) Bandaufgeber

wird es durch folgende Baugruppen charakterisiert:

- Waage mit Lastträger und Auswägeeinrichtung
  - mechanische Wägelastübertragung über Hebelsystem (Kraftmessung auf Wegmessung zurückgeführt)
  - elektromechanische Meßwertumformung
  - hybride, d. h. kombinierte mechanisch-elektromechanische Wägelastübertragung
- Dosierelemente (Verwendung der kontinuierlichen Dosiergeräte)
- Auswerteeinrichtungen
  - digitale Anzeige
  - externe Sollwertvorgabe
  - Soll-Ist-Vergleich, Toleranzkontrolle, Nachstromregelung
  - Datenkopplung mit einem Zentralrechner.

Werden mehrere Komponenten in einem Arbeitstakt der Waage verwogen, kennt man folgende Verfahrensweisen:

- Additiv-Verwiegung: Einzelgewichte der Komponenten werden addiert,
- Absolut-Verwiegung: Nulltarierung der Waage nach jeder Komponente,
- Differenz-Verwiegung: der Waagenbehälter wird gefüllt, gewogen und geleert; die auftretende Füllung wird durch Wägen nach Entleerung erfaßt und zur Ermittlung der tatsächlichen Chargenmenge benutzt. Diese Form wird besonders bei schlechtfließenden Gütern angewendet.

[112, 113, 115, 116]

s. Systemfehler von Dosieranlagen

Dotieren (lat.: dotare = ausstatten) – *Einbringen von Fremdatomen in das Gitter bzw. in die Oberfläche von Kristallen* mit dem Ziel, die Eigenschaften der betreffenden Kristalle zu verändern*; z. B. Eindiffundieren von Donatoren (Elektronenspender) oder Akzeptoren (Elektronenempfänger) in Halbleitern*.

Moderne Dotierungsverfahren sind die Ionenstrahl- oder Ionenimplantation; hierbei wird das Dotierungsmaterial im Hochvakuum von einem Strahl beschleunigter Ionen beschossen.

s. Sputtern

Drachenzähne – *Formgebungsfehler beim Strangpressen.* Eine zu hohe Reibung im Mundstück reißt in etwa gleichmäßigen Abständen den Massestrang sägezahnartig ein. Eine Schmierung oder Bewässerung des Mundstückes bei gleichzeitiger Evakuierung mindert weitgehend das Entstehen von D. [39]

Drahtwiderstände – *ohmsche Widerstände.* Sie bestehen aus einem stabförmigen Porzellan- oder Steatittragkörper, auf den dünne Widerstandsdrähte (z. B. Chromnickellegierungen) aufgewickelt sind. Zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen werden D. mit einer niedrigschmelzenden, farbigen Glasur überzogen.

Dränrohre (Dränagerohre) – *unglasierte Tonrohre zur Melioration der Böden.* D. werden in 1 bis 2 m Tiefe verlegt. Es wird unterschieden in

1) Sauger, die das Bodenwasser aufnehmen, und
2) Sammler, die das Wasser zum Dränauslauf leiten.

Drehen – *Formgebung rotationssymmetrischer Körper aus bildsamen keramischen Massen in rotierender Bewegung.* Die verfahrenstechnischen Lösungen der Formgebung durch D. sind:

1) Freidrehen* mit Hilfe von Töpferscheiben*; diese Art der Formgebung wird im wesentlichen nur noch in Kunsttöpfereien angewendet.

2) Maschinendrehen, d. h. D. unter Verwendung mehr oder weniger umfangreicher maschineller Hilfseinrichtungen, wobei z. T. gleichzeitig poröse, kapillaraktive Formen* (Gips und Kunststoff) mit herangezogen werden.

Die Geschwindigkeit beim maschinellen D. ist relativ hoch, weil sich dadurch auch die Bildsamkeit der Masse erhöht.

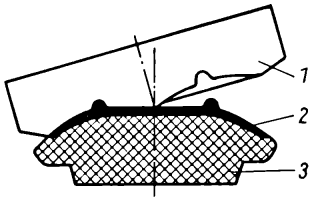
Grundsätzlich lassen sich zwei Varianten des Maschinendrehens unterscheiden:

*Schablonendrehen**, welches in gewisser Weise ein

spanabhebendes Verfahren darstellt; man unterscheidet:
- D. mittels Quetschschablone und Drehspindel; Anwendung heute meist nur noch zum D. von Sonderartikeln oder in kleineren Betrieben,
- Abdrehen mittels Kopierdrehmaschine*, Einsatzbereich vorwiegend in der technischen Keramik zur Herstellung von Langstabisolatoren u. a.

*Rollerverformung**, welche einer spanlosen Verformung ähnelt.

Prinzipiell lassen sich bei beiden Verfahren folgende Arbeitsweisen unterscheiden:
- Das Überformen, angewendet bei Flachgeschirr, wobei die Innenseite des Artikels von der Form und die Außenseite von der Schablone geformt werden (d. h., die Gipsform ist konvex, und das Formenwerkzeug ist konkav; s. Bild).



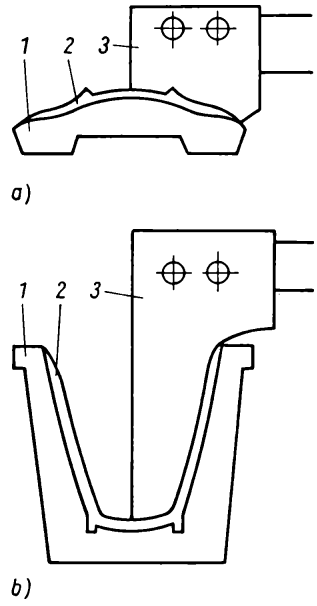
Scherbenschnitt mit Rollerwerkzeug und Gipsform
1 Rollerwerkzeug
2 Scherben
3 Gipsform

- Das Einformen, angewendet bei Bechern und anderem rotationssymmetrischem Hohlgeschirr; es stellt die reziproke Ausführung des Überformens dar, d. h., der Formling erhält seine Außenseite durch die Form und die Innenseite durch die Schablone (s. Bild).

Drehmaschine – *s.* Roller

Drehrohrofen – *kontinuierlich arbeitendes Brennaggregat zum Calcinieren*, Vorsintern* und Brennen von Rohschamotte, Kalk, Zementklinkern u. a.*

Ein D. stellt im Prinzip ein auf Rollen gelagertes Stahlrohr dar, das je nach Höhe der Brenntemperatur mit entsprechenden hitzebeständigen oder feuerfesten Ausmauerungen versehen ist. Meist sind D. schwach geneigt, so daß während der Drehung das Brenngut selbsttätig vom höheren, dem Einlaufende, zum tieferen Ende, dem Ofenkopf, befördert wird. Erfolgt die Beheizung mit Gas, Öl oder Kohlenstaub, wird die Flamme am Ofenkopf erzeugt, so daß das Brenngut der höchsten Temperatur entgegen läuft. Soweit D. elektrisch beheizt werden, sind Heizleiter über und unter dem Stahlrohr angeordnet. Elektrisch beheizte D., wie sie



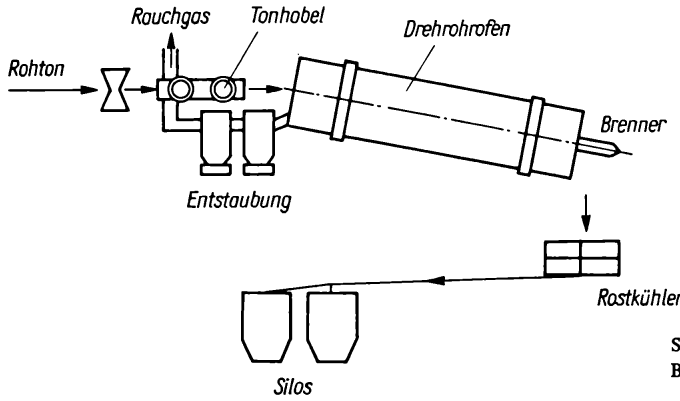
Schema des Über- und Einformens
a) Überformen
b) Einformen
1 Form
2 Scherben
3 Schablone

zum Vorsintern von Ferriten* eingesetzt werden, haben eine Länge von 3 bis 5 m; die zum Brennen von Rohschamotte verwendeten D. (Lepolöfen) haben durchschnittliche Längen von 40 bis 50 m; die sog. Naßöfen in der Zementindustrie können Längen bis 200 m und Durchmesser bis 5 m aufweisen (s. Bild S. 98 oben).

D. weisen eine Reihe wärmetechnischer Besonderheiten gegenüber ruhenden Öfen auf:
- infolge der Drehung steht das Brenngut zeitweise mit der Ofenwand und zeitweise mit der Flamme/Rauchgasen in direkter Berührung, dadurch ergibt sich eine bessere Wärmeübertragung an das Brenngut und eine Senkung der Wandtemperaturen des Ofens,
- durch die ständige Bewegung werden innerhalb des Brenngutes erwärmte Oberflächenteile mit kälteren Mittelteilen ausgetauscht,
- durch das Gegenstromprinzip beim Wärmeaustausch von Brenngut und Flamme besitzen D. eine gute Wirtschaftlichkeit.

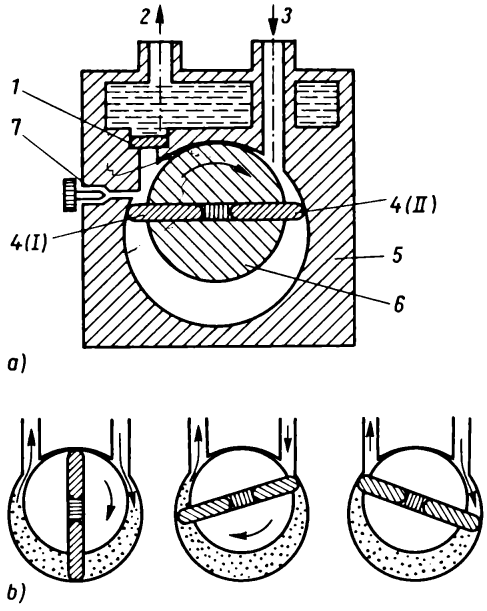
D. werden auch als Trockenöfen, sog. Trockentrommeln, eingesetzt; wegen der relativ niedrigen Temperaturen benötigen diese im allgemeinen keine feuerfesten Ausmauerungen. [223]

Drehschieberpumpe – *zu den sog. Verdrängerpumpen gehörende Vakuumpumpe.* Ihre Wirkung beruht darauf, daß ein veränderliches Volumen,



Schema einer Drehrohrofenanlage zum Brennen von Rohschamotte

der sog. Schöpfraum, mit dem Rezipienten in Verbindung gebracht wird. Durch Drehen des Rotors (s. Bild *a*) vergrößert sich der Schöpfraum und saugt das Gas aus dem Rezipienten an. Bei maximalem Schöpfraumvolumen wird der Rezipient vom Schöpfraum abgesperrt (Bild *b*). Anschließend wird das Gas durch Verkleinern des Schöpfraumes komprimiert; bei Erreichen des Atmosphärendruckes öffnet das Auslaßventil. D. evakuieren in einem Druckbereich von etwa 10^5 bis etwa 10^{-3} Pa.



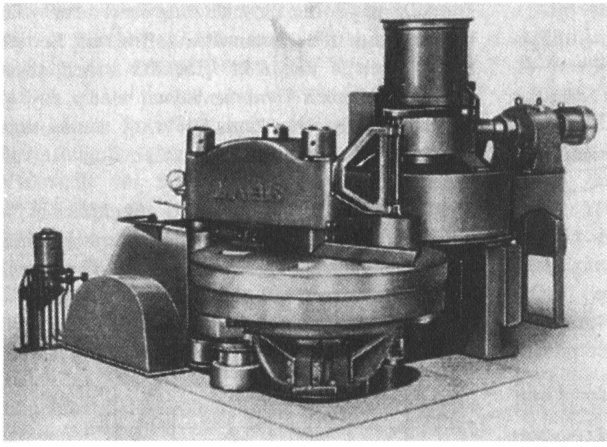
Einstufige Drehschieberpumpe (schematisch)
a) Bauteile
b) verschiedene Stellungen des Rotors bzw. Schiebers

1 Auslaßventil	5 Stator
2 Auslaßöffnung	6 Rotor
3 Ansaugöffnung	7 Gaseinlaßventil
4 Schieber, I, II	

Drehspindel – *elektrisch angetriebene Drehscheibe zum Herstellen rotationssymmetrischer Formlinge.* Die D. läuft am unteren Ende in einem Spurlager und wird im oberen Drittel durch ein Halslager geführt. Sie kann ausgekuppelt und gleichzeitig gebremst werden. Die Scheibe mit der Formenaufnahme sitzt am Kopf der D.

Drehtischpresse – *Maschine zum Verpressen von Arbeitsmassen mit einem Feuchtegehalt von 5 bis 8 % zu Klinkern, Fußboden-, Wand- und Mosaikplatten, Lochsteinen, ff. Erzeugnissen* (s. Bild). Die Drücke liegen dabei etwa zwischen 15 und 50 MPa. Der Antrieb erfolgt mechanisch oder hydraulisch oder auch kombiniert. In einem runden, sich ständig oder in Intervallen drehenden Tisch können in gleichen Abständen elektrisch beheizte Formenkästen (so bei Dolomitsteinpressen) eingelassen sein, die nacheinander die Füllungsstation, die Preßstation und die Auswurfstation durchlaufen. Es gibt Drehtische mit bis zu 16 Aufnahmen.

Drehzellenfilter – *kontinuierlich arbeitende Maschinen zur Entwässerung von Suspensionen.* D. sind meist als Vakuumdrehfilter ausgelegt, seltener als Druckfilter in gasdichten Gehäusen. Sie bestehen aus einer Trommel mit außenanliegendem Filterteil und sind in 10 bis 30 Sektoren aufgeteilt. Die Filtertrommel taucht etwa zu einem Drittel in die Suspension ein. Jede Zelle ist über einen Steuerkopf an Zu- und Ableitungen angeschlossen; die Drehgeschwindigkeit bestimmt die Kuchendicke (s. Bild).



Mechanisch-hydraulische Drehtischpresse (Fa. Laeis, Trier)

Eine Abart stellen die Scheibenzellenfilter dar; sie haben eine größere Filterfläche. Wenn in den Suspensionen gröbere Teilchen enthalten sind, empfiehlt sich die Verwendung von Innenzellenfiltern, bei diesen dient der Trommelinnenraum zur Aufnahme der Suspension. [15, 158]

Dreischichtminerale – *Gruppe von Schichtsilicaten*, die aus einer $Al_2(OH)_6$-Oktaederschicht und zwei $Si_2O_5(OH)_2$-Tetraederschichten aufgebaut ist. Zu den D. zählen: Glimmer*, Montmoringruppe* und Illite*.

Dreistoffsystem – *s.* System 3. Ordnung

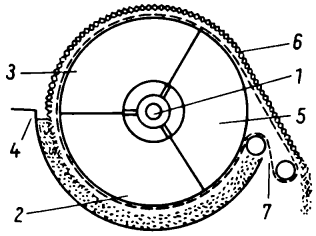
Druckdauerstandsfestigkeit – *Maß zur Beurteilung des Langzeitverhaltens feuerfester Materialien bei höheren Temperaturen.*

Der Prüfung der D. wird gegenüber der Bestimmung der *DFB** vielfach der Vorzug gegeben, da diese Methode treffendere Aussagen über das Verhalten der feuerfesten Baustoffe bei den Einsatztemperaturen liefert; so läßt sich z. B. das sog. Kriechen der Werkstoffe unmittelbar bestimmen. Die Prüfung ist in der DDR in TGL 32 152 (RGW-Empfehlung 3671-72) und in der BRD durch DIN 51 053/2 standardisiert. Die zylindrischen Prüfkörper (Durchmesser 36 mm, Höhe 30 bis 50 mm) werden unbelastet auf Temperaturen von 1 500, 1 600 oder 1 700 °C gebracht, zum Temperaturausgleich noch 2 h unbelastet gehalten und dann erst mit 0,2 bis 0,5 MPa belastet. Gemessen wird die Gesamtstauchung in mm oder % nach 24 oder mehr Stunden:

$$\text{Stauchung} = \frac{h_0 - h_{24}}{h_0} 100 \text{ (in \%)}$$

h_0, h_{24} Höhe des Prüfkörpers nach 0 bzw. 24 h Belastung.

Einige derartige Fließkurven (nach *Verworner/Berndt*) zeigt das folgende Bild, S. 100 oben.



Prinzip des Drehzellenfilters

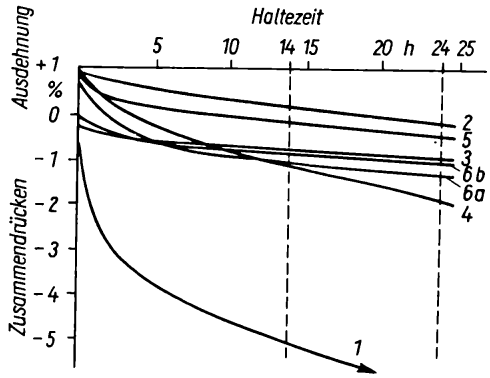
1 Steuerkopf
2 Ansaugen
3 Trockensaugen
4 Bottich
5 Abnahme
6 Kuchen
7 Filtertuch

Druckfestigkeit (im Sprachgebrauch auch Kaltdruckfestigkeit *(KDF)*) – *statische Festigkeit beim Druck- und Stauchversuch.* Die Prüfung erfolgt in der DDR nach TGL 9408/2 und in der BRD nach DIN 51 067. Allgemein ist die D. definiert:

$$\sigma_{dB} = F_{max}/A_0$$

σ_{dB} Druckfestigkeit (in Pa)
F_m Drucklast (in N)
A_0 ursprünglicher Querschnitt (in m^2).

1) Bei feinkeramischen Werkstoffen wird die Prüfung am Zylinder von 25 mm Durchmesser und 25 mm Höhe vorgenommen. Die Endflächen der Prüfkörper müssen planparallel geschliffen sein, die Drucksteigerung soll 3 bis 4 kN s^{-1} betragen.



Druckdauerstandverhalten verschiedener feuerfester Baustoffe

1 Schamotte bei 1 300 °C
2 Silica bei 1 500 °C
3 Periklas-Spinell bei 1 600 °C
4 Mullit bei 1 500 °C
5 Korund bei 1 500 °C
6 Feuerbeton (anwendbar bis max. 1 300 °C)
a) ungebrannt bei 1 250 °C
b) vorgebrannt bei 1 300 °C

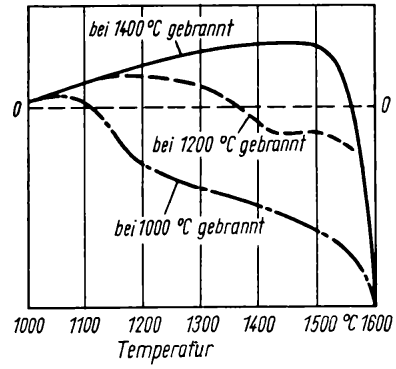
Zwischen Prüfling und Druckstempel ist je ein Blatt Schreibmaschinenpapier einzulegen.

2) Bedingt durch die Heterogenität der feuerfesten Baustoffe ist die D. erheblichen Schwankungen unterworfen. Für geformte Baustoffe werden vorzugsweise zylindrische Prüfkörper (50 mm Durchmesser, 50 mm Höhe) verwendet, für ungeformte Erzeugnisse – je nach max. Korngröße – Würfel mit Kantenlängen von 50 bis 250 mm.

Die *KDF* ist für die Einschätzung der Transportfähigkeit eines feuerfesten Baustoffes von Bedeutung. Bereiche der *KDF* gibt das unten abgedruckte Bild nach *Verworner/Berndt* wieder.

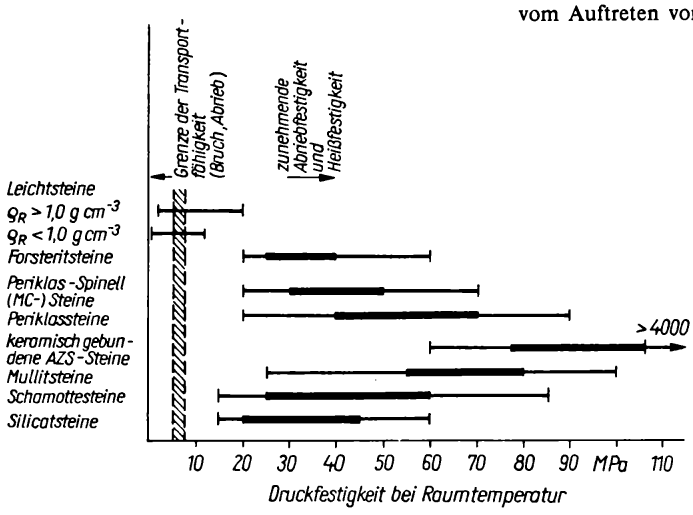
In erster Näherung kann für viele keramische Werkstoffe die D. mit der 10fachen Zugfestigkeit angenommen werden. [94, 168].

Druckfeuerbeständigkeit – *Maß für das Erweichungsverhalten druckbelasteter feuerfester Baustoffe im Temperaturbereich beginnender Verformung bis zum haltlosen Erweichen* (s. Bild).



DFB-Kurven von Schamottesteinen, die bei verschiedenen Temperaturen gebrannt wurden

Zur Kennzeichnung des Erweichungsverhaltens feuerfester Werkstoffe reicht im allg. die Bestimmung der Kegelfalltemperatur* nicht aus, da belastete Werkstoffe bereits bei tieferen Temperaturen deformieren. Der Erweichungsbeginn wird primär vom Auftreten von Schmelzphase und vorhande-



Druckfestigkeit bei Raumtemperatur verschiedener feuerfester Baustoffe

nen Poren bestimmt; aber auch Kristalle – besonders rundliche – können unter Druck bereits unterhalb der Schmelztemperatur fließen, wobei jedoch nadelförmige und verfilzte dem Körper eine höhere Standfestigkeit verleihen. Schließlich beeinflußt die Ofenatmosphäre den Anteil und die Viskosität der Schmelzphase. Die Prüfung der *DFB* ist in der DDR in TGL 13713 (STRGW 2894-81) und in der BRD in DIN 51064 genormt. Danach sind zylindrische Körper von 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe im Elektroofen bis 1000 °C mit einer Steigerung von max. 10 K min^{-1} und über 1000 °C mit 4 bis 5 K min^{-1} zu prüfen. Der auf den Prüfkörper aufzubringende Druck beträgt bei einer Rohdichte des Erzeugnisses von

>1,5 g cm^{-3}	0,200 MPa
1,0 bis 1,5 g cm^{-3}	0,100 MPa
<0,1 g cm^{-3}	0,050 MPa.

Die Standards legen folgende Meßpunkte fest:
- die Temperatur T_0 bei größter Ausdehnung,
- die Temperatur $T_{0,6}$, bei der der Prüfkörper vom Punkt größter Ausdehnung (Δl_{max}) 0,6 % (≙0,3 mm) zusammengedrückt ist,
- die Temperatur T_4, bei der der Prüfkörper vom Punkt größter Ausdehnung um 4 % (≙2 mm) zusammengedrückt ist,
- die Temperatur T_{20}, bei der der Prüfkörper vom Punkt größter Ausdehnung um 20 % (≙10 mm) zusammengedrückt ist,
- die Temperatur T_b, bei der der Prüfkörper spontan zusammenbricht.

Nach dem Verlauf der Kurven lassen sich die feuerfesten Werkstoffe in solche mit Erweichungsintervall (z.B. Schamottesteine) und solche ohne Erweichungsintervall (z. B. Silicasteine) unterteilen. Nach [168] hat die *DFB*-Prüfung für hochwertige feuerfeste Baustoffe nur geringe Bedeutung, aussagefähiger ist die Prüfung der Druckdauerstandfestigkeit*. [133, 159, 168, 169]

Drucksintern – *Sinterung unter Anwendung von äußeren Drücken.* D. setzt das Sinterintervall auf etwa die Hälfte der absoluten Schmelztemperatur des Sintergutes herab und gestattet nahezu das Erreichen der theoretischen Dichte.
s. HIP

Druckspannungen – *mechanische Kräfte, die einen Körper auf Druck beanspruchen.* Sie können sich in keramischen Körpern ausbilden, u. a. wenn

1) die Abkühlung des Körpers zu schnell durchgeführt wurde,
2) innerhalb eines Körpers Temperaturunterschiede (Temperaturgradient) vorliegen (damit ist aber auch immer Zugspannung vorhanden – gilt auch für *1)*,
3) der thermische Ausdehnungskoeffizient einer Glasur kleiner ist als der des Scherbens; letzteres bewirkt eine Festigkeitssteigerung des Körpers, weil dadurch Risse u. a. Oberflächenfehler in der Glasur erst bei höheren Zugbeanspruchungen wirksam werden.

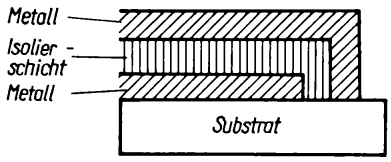
Stehen durchsichtige silicatische Körper unter D., so schwingt der langsamere Strahl (die höhere Brechzahl) in einer Ebene rechtwinkelig zur Spannungsrichtung, nachzuweisen mit Hilfe der Polarisationsoptik.

Duktilität (lat.: ducere = ziehen) – *Abgleiten von Atom/Ionenpaketen entlang bestimmter Gitterebenen nach Überschreiten einer kritischen Spannung bei Einkristallen.*
Der Mechanismus der D. erfolgt über Versetzungen*, die meist im Kristall in genügender Menge vorhanden sind. Andernfalls müssen sie gebildet werden, was sich in einer höheren Fließgrenze äußert. Beim Abgleiten werden solche Gitterebenen bevorzugt, bei denen sich jedes Ion möglichst schnell wieder in der richtigen Lage befindet und dabei möglichst nicht an einem gleichgeladenen Ion direkt vorbeikommt. Beim kubischen Periklas (MgO) ist das z.B. die Ebene (110), d.h. eine dicht besetzte Ebene.
Allgemein ist D. strukturabhängig; so wird im hexagonalen System dem Gleiten wegen einer anderen Anordnung der Ionen ein größerer Widerstand entgegengesetzt, so daß hier noch eine gewisse thermische Anregung erforderlich ist. So ist z. B. beim Saphir (Al_2O_3) ein Gleiten in der Ebene (0001) erst oberhalb 900 °C möglich.
Am bekanntesten ist die Erscheinung der D. bei den Edelmetallen Gold u. Silber. [8, 150]
s. Sprödigkeit

Dunit – *magmatisches Gestein, Magnesiumsilicat, besteht überwiegend aus Olivin*. Daneben enthält es Serpentin als Zersetzungsprodukt des Olivins.* Rohstoff für Forsteritsteine. D. haben eine hohe Feuerfestigkeit (über 1700 °C) und werden auch im natürlichen Zustand als feuerfestes Material verwendet.

Dünnschichtkondensator – *ein nach dem*

Verfahren der Dünnschichttechnik hergestelltes integriertes Bauelement. Er wird durch drei Schichten, eine auf dem Substrat liegende Metallschicht, eine Isolierschicht als Dielektrikum und eine weitere Metallschicht, erzeugt (s. Bild). Das Dielektri-



Dünnschichtkondensator

kum kann durch Oxydation der Metallgrundelektrode oder durch Aufdampfen*/Sputtern* realisiert werden. Als Material für die Elektroden werden Al, Au oder Ta, für das Dielektrikum SiO, SiO_2 oder Ta_2O_3 herangezogen. D. mit drei Schichten entsprechen weitgehend einem Plattenkondensator mit homogenem elektrischem Feld, so daß die Bemessungsgleichung

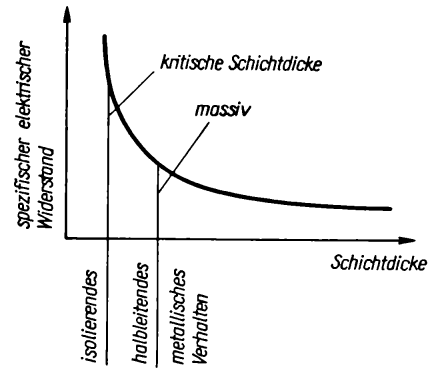
$C = \varepsilon A/d$ bei $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

ε_0 absolute *DK*
ε_r relative *DK*
A Fläche
d Dicke des Dielektrikums

gilt.

s. Schichten, dünne

Dünnschichtschaltung (Dünnfilmschaltung) – *im engeren Sinne eine nach dem Verfahren der Dünnschichttechnik hergestellte Schaltungsanordnung.* Als Träger der D. dienen Substrate aus Glas oder Keramik. Die Dicke der D. liegt unter 1 µm, im Gegensatz zur Dickschichtschaltung, deren Dicke sich zwischen 1 bis 30 µm bewegt. In dünnen Schichten* können bei Dicken <10 nm elektrische, magnetische, optische oder mechanische Anomalien gegenüber dem kompakten Material auftreten (s. Bild). Die Ursache für dieses Verhalten liegt in dem stark gestörten Kristallgitter (Benetzung*). Für die Oberflächenatome herrschen veränderte Kräfteverhältnisse, dadurch werden Wechselwirkungen zwischen den Grenzschichten möglich. Im allgemeinen sind bei D. solche Effekte unerwünscht. D. bauen sich aus Dünnschichtwiderständen, -kondensatoren, -spulen, -dioden, -transistoren auf. Werden noch aktive und ggf. weitere passive Bauelemente aufmontiert, spricht man von *Hybridschaltkreisen*.

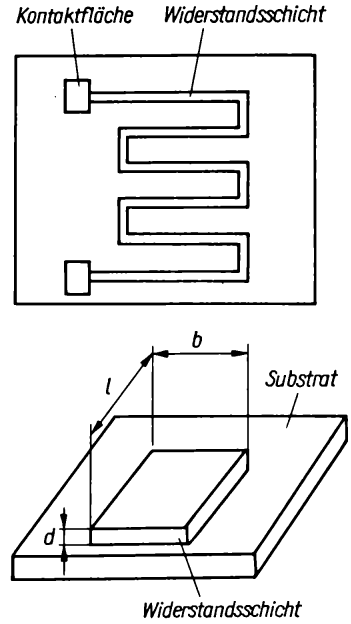


Dünnschichtschaltung

Im weiteren Sinne wird unter D. überhaupt ein nach dem Verfahren der Hybridtechnik hergestellter Schaltkreis verstanden.

Dünnschichtwiderstand (Dünnfilmwiderstand) – *nach einem Verfahren der Dünnschichttechnik als integriertes Bauelement erzeugter Widerstand.* Widerstandsschichten werden in Streifen- oder Mäanderform auf Substrate* aufgebracht und mit Kontakten versehen (s. Bild).

Als Widerstandsgröße einer Schicht ist der Flächenwiderstand R_S in Ω definiert. Der Widerstand einer Leiterbahn ist



Dünnschichtwiderstand

$$R = \varrho \frac{l}{d\,b}$$

ϱ spezifischer elektrischer Widerstand (in Ω cm)
l Länge (in cm)
d Dicke (in cm)
b Breite (in cm) und

$R_S = R_{l=b} = \varrho/d$ und damit

$$R = R_S \frac{l}{b} = R_S\, x$$

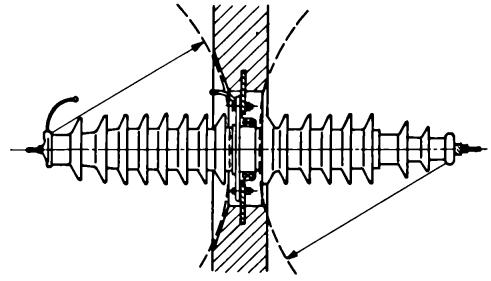
x Anzahl der Schichtquadrate.

Weitere Kenngrößen sind der Temperaturkoeffizient α_R des Widerstandes, das Rauschen des Widerstandes (Nyquist- und Sturmrauschen), die zeitliche Stabilität (Widerstandsänderung je Zeiteinheit), Leistungsdichte, die ihrerseits auch vom Verhältnis der Ausdehnungskoeffizienten, der topologischen Gestaltung und der Wärmeabfuhr abhängig ist. Das am häufigsten verwendete Widerstandsmaterial ist eine NiCr-Legierung. Da sich Legierungen während des Aufdampfens entkoppeln, wird zweckmäßig von zwei verschiedenen Stellen verdampft oder die Explosionsverdampfung herangezogen. (NiCr-Granulat wird auf erhitztes Tantalblech geschleudert.) Andere Materialien sind Tantal (Ta), Ta_2N, Mischungen $Ta\text{-}Ta_2N$, $Ta\text{-}Ta_2O_5$ und Cermets. $Ni\text{-}SiO_2$-Cermet ergibt auf thermisch oxydierten Siliciumscheiben folgende Zusammenhänge zwischen Flächenwiderstand und Schichtdicke: 253 Ω bei 174 nm; 368 Ω bei 154 nm; 590 Ω bei 98 nm.

Während der Schichterzeugung kann der Flächenwiderstand über ein quadratisches Monitorsubstrat und eine *Wheatstone*brücke gemessen werden. Eine andere Möglichkeit der Messung von R_S bietet die Vierspitzenmethode: Vier in einer Reihe stehende Spitzen (Abstand jeweils 1 mm) werden auf die Schicht aufgesetzt. Durch die beiden äußeren wird ein bekannter Strom geschickt, und über die beiden inneren wird der Spannungsabfall durch Kompensation gemessen. Durch Strukturierung mit einem Elektronenstrahl kann die Widerstandsschicht (z.B. in Mäanderform) auf den gewünschten Widerstandswert abgeglichen werden. Bei sehr dünnen Schichten mit sehr großem R_S besteht die Möglichkeit des negativen Temperaturkoeffizienten α_R. [34 bis 36]

Dünnschliff – *Präparat von spröden oder nicht schneidbaren Stoffen für Untersuchungen in der Durchlichtmikroskopie, insbesondere mit polarisiertem Licht mittels Polarisationsmikroskops.* Das auf einem Objektträger aufgekittete (z.B. mit Kanadabalsam) Untersuchungsobjekt wird stufenweise dünner geschliffen, bis es eine Dicke von etwa 0,02 mm hat. Beim Übergang von gröberem zu feinerem Schleifmittel muß das Präparat gründlich gesäubert werden. Der D. wird mit einem Deckgläschen abgedeckt. Poröse Stoffe müssen vor dem Schleifen in Kanadabalsam gekocht werden, damit die zum Schleifen notwendige Festigkeit erreicht wird.

Durchführungen – *Aufbauteile einer Schaltanlage, die die Aufgabe haben, elektrische Spannungen isoliert durch Gebäude- und Gerätewände hindurchzuführen.* Für Spannungen bis 60 kV sind Einrohrdurchführungen, über 60 kV Mehrrohrdurchführungen gebräuchlich. Bei letzteren wird die Durchschlagspannung durch mehrere ineinander geschobene Porzellanrohre aufgenommen. Bei Freiluftdurchführungen (s. Bild) wird die Überschlagsicherheit auch bei ungünstigen Witterungsverhältnissen durch einen weit ausladenden Wulst mit Hohlkehle an der Fassungsstelle und durch eine große Zahl weitausladender Schirme auf der gesamten Isolatorlänge am Außenraumteil gewährleistet.



Einbau einer Mehrrohrdurchführung

Durchlichtmikroskopie – *Mikroskopierverfahren, bei dem die Präparate in dem sie durchdringenden Licht beobachtet werden.* Die dabei am häufigsten angewandte Methode ist die *Hellfeld-D.*, seltener die *Dunkelfeld-D.* (Bei letzterer wird das Objekt so beleuchtet, daß kein direktes Licht hineindringt.) Als Präparate dienen Dünnschliffe oder Körner, die auf einen Objektträger gegeben und mit Deckgläschen abgedeckt werden.

Durchschlagfestigkeit, elektrische – *Festigkeit eines Werkstoffes gegenüber elektrischen Ent-*

ladungen. Bei Überschreiten der Festigkeit bricht das elektrische Feld zusammen, der Isolator wird unbrauchbar. Die Abhängigkeit der e. D. von der Wandstärke und Temperatur geben die Bilder wieder. Die e. D. wird an Probeplatten von 80 mm Durchmesser, die in der Mitte mit einer kalottenartigen Vertiefung (Radius = 10 mm) versehen sind, bestimmt.

E

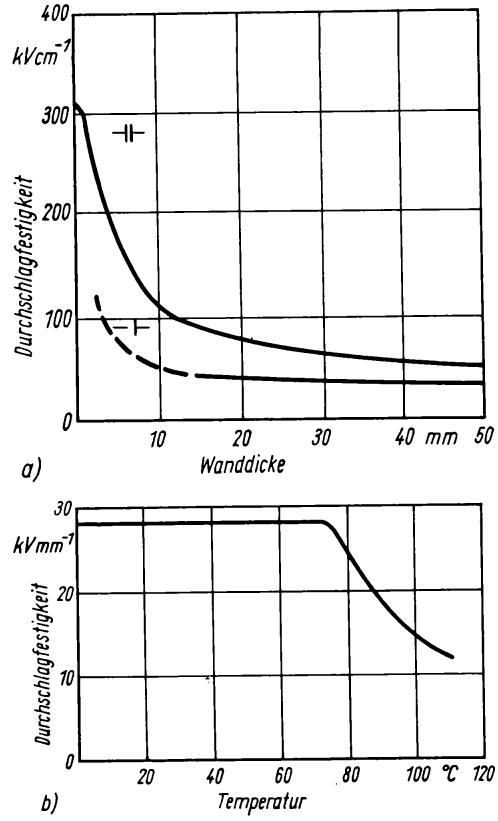
Ecaille-Malerei – im 18. Jh. als »Mosaique« bezeichnet; in der Porzellanmalerei des 18. Jh. häufig verwendeter Dekor, in Wien um 1730/40, in Meißen erstmals 1760. Er bestand aus einem schuppenförmigen Muster, das meist als Randeinfassung oder als Zwickelfüllung (keilförmige Fläche) benutzt wurde. Als Farben wurden Purpur, Grün und auch Schwarz (auf Berliner Porzellan Eisenrot) verwendet. Um 1770 brachte die Königliche Manufaktur Berlin beim Antikzierat eine blaue E. M.

Edelmetallpräparate – *organische Edelmetallsalzlösungen bzw. Suspensionen*, aus denen sich im Brande (650 bis 850 °C) zusammenhängende, haftfeste Metallschichten (Gold, Silber, Platin) in einer Dicke <0,5 µm bilden*, die als Dekor ästhetische Ansprüche befriedigen bzw. in der Elektronik als Leiterbahnen oder als sehr verlustarme Kontakte Verwendung finden.

1) Unter dem Aspekt des Aufglasurmittels unterscheidet man:

- Glanzpräparate (flüssig), die unmittelbar glänzend aus dem Dekorbrand kommen (Glanzgold* u. a.),
- Polierpräparate (flüssig), die nach dem Brande erst noch poliert werden müssen (Poliergold* u. a.),
- Puderpräparate (fest), die zum Pudern beim Stempeln*, beim Stahldruck* und bei der Herstellung von Schiebebildern* verwendet werden (Pudergold*).

2) Unter dem Aspekt der Unterglasurdekoration können einige Edelmetalle bzw. deren Oxide in fester Form Verwendung finden: Gold für rötlichbraune, Iridium- und Rutheniumoxid für tiefschwarze und Platin für graue Töne.



a) Durchschlagfestigkeit bei Wechselspannung, abhängig von der Wanddicke des Porzellans (Hochspannungsisolator)
- homogenes Feld (Platte – Platte bzw. Kugel – Platte)
- stark inhomogenes Feld (Spitze – Platte) (Tendenzdiagramm, z. B. Porzellan)

b) Verhalten der Durchschlagfestigkeit von Hochspannungsisolatoren bei steigender Temperatur (Tendenzdiagramm, z. B. Porzellan)

[158, 278]

Edelkorund – *s.* Aluminiumoxid

Eierschaligkeit – *Glasurfehler, der sich als stark wellige, unruhige Glasuroberfläche darstellt und auf viele kleine Krater* (Tiefe etwa 10 µm, Durchmesser bis 100 µm) *sowie in der Glasur eingeschlossene Gasbläschen* (Durchmesser <50 µm) *zurückzuführen ist.* Wegen des matten Aussehens der Glasur wird dieser Fehler mit der Oberfläche von Vogeleiern verglichen. E. und Nadelstiche* sind zwei Erscheinungsformen desselben Fehlers (Bildung von Bla-

sen*). Die Ursachen der E. können zu niedrige Brenntemperaturen, zu flußmittelarme oder zu strengflüssige Glasuren* in zu dünner Lage sein.

Eigenschaftskörper – *s.* Indikatrix

Einbettungsmittel – *Hilfsmittel in der mikroskopischen Präpariertechnik zum Vorbereiten poröser Stoffe für das Dünnschleifen (s. Dünnschliff) und zum Aufkitten der Proben auf Objektträger.* Die E. schmelzen bei mäßig hohen Temperaturen und erstarren glasig; ein blasenfreies Aufkitten ist aber nur möglich, wenn alle Teile gleiche Temperatur haben. E. sind u. a. Kanadabalsam, $n_D = 1{,}542$ sowie Phthalopal G (Erzeugnis des VEB Chemische Werke Buna, Schkopau), $n_D = 1{,}571\,5$.

s. Immersionsmethode

Einbindevermögen – *Fähigkeit eines Bindemittels (Tone u. a.), inaktive feste Stoffe (Magerungsmittel, Hartstoffe) einzubinden, d. h., Haftkräfte zwischen benachbarten Teilchen wirksam werden zu lassen.* Die Haftkräfte können elektrostatischer Natur und/oder *van-der-Waals*-Kräfte sein, und soweit benetzende niedrig viskose Flüssigkeiten vorhanden sind, bilden sich noch Flüssigkeitsbrücken aus. E. und Bildsamkeit* sind nicht identisch, jedoch bedingt Bildsamkeit ein E. Bei Tonmineralen* haben die Wasserfilme und die austauschbaren Kationen* wesentlichen Einfluß auf das E., und soweit Na-belegter Montmorillonit* vorliegt auch auf dessen innerkristalline Quellung.

Einbrandverfahren – *Brenntechnologie, nach der ein getrockneter Formling zur Erlangung seiner Gebrauchswerteigenschaften nur einem Hochtemperaturprozeß unterworfen wird.* Das E. wird insbesondere bei grobkeramischen Artikeln (z. B. Ziegeln), bei Töpfererzeugnissen und bei vielen Feuerfestwerkstoffen, bei dickwandigen elektrokeramischen Erzeugnissen (z. B. Langstäben) und bei einer Reihe von Strukturkeramiken*/Funktionskeramiken (z. B. Sinterkorund*, SiC* u. a.) angewendet, wobei entweder der Scherbenbildungsprozeß der Masse nur einen Brand erfordert oder die Rohstoffe bereits thermisch soweit vorbehandelt sind, daß nur ein Brand genügt.

Dünnwandige feinkeramische Artikel, die glasiert werden, sind für das E. nicht ohne weiteres geeignet, da sie im rohen Zustand nicht die genügende mechanische Festigkeit für das Glasieren* besitzen. Erst durch einen Glühbrand* erhalten sie die erforderliche mechanische Festigkeit und Porosität* zur Annahme des Glasurschlickers. Durch Zusätze organischer Härter zu feinkeramischen Massen wird zum Teil ein E. möglich.

Einformen (umgangssprachlich · Eindrehen) – *meist maschinelle Formgebungsart, bei der die Form (aus Gips oder Kunststoff) die äußere, die Schablone die innere Seite des keramischen Rohlings ausformt.* Der Rohling muß dabei im oberen Teil einen etwas größeren Durchmesser aufweisen. Neben dem E. von Bechern, Schüsseln, Kapseln u. a. ist die Bezeichnung E. auch bei der Herstellung von untergriffigen (sehr bauchigen) Formlingen üblich; dazu wird die Schablone senkrecht nach unten in die Form geführt, formt dann durch eine Seitwärtsbewegung aus und geht wieder in die Ausgangsstellung zurück.

Einlagerungsverbindungen – *Verbindungen von Übergangsmetallen in kubisch oder hexagonal dichtester Kugelpackung* oder raumzentriertem Gitter, seltener auch im einfach hexagonalen Gitter mit Elementen kleiner Atomradien (Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff).* E. haben metallische Eigenschaften, hohe Schmelzpunkte und große Härte. Nach *Hägg* werden die Strukturen der E. in erster Linie von geometrischen Prinzipien diktiert, d. h., sie treten nur auf, wenn das Verhältnis Atomradius des Nichtmetalls zum Atomradius des Metalls $<0{,}59$ beträgt (anderenfalls entstehen die sog. intermetallischen Phasen). Zu den E. zählen Dimolybdäncarbid Mo_2C, Chromnitrid Cr_2N, Titanhydrid Ti_2H u. a.

Einschlüsse – *stofflich abweichende Substanzen innerhalb eines Kristalls, die während des Wachstumsprozesses umhüllt wurden.* Man kennt Gas-, Flüssigkeits- und Kristall-E. Letztere verleihen dem Wirtskristall oft eigenartige Farbeffekte.

Einschlußpigmente – *durch Umhüllung über eine gesteuerte Kristallisation hergestellte, bis zu Brenntemperaturen von etwa 1 300 °C glasurresistente keramische Farben* von Verbindungen, die ohne Umhüllung bei Temperaturen von 1 000 °C zerfallen würden.*

Im Anfangsstadium der Kristallisation von stabilen glasschmelzenresistenten Verbindungen (z. B. Zirconiumsilicat*) werden farbgebende Pigmente* (z. B. Cd(S, Se)) atomdispers in das Wirtsgitter* eindotiert. Durch geeignete Mineralisatoren (z. B. NaCl, NaF) wird das Weiterwachsen der Kristallite (Korngrößen etwa 5 µm) dahin beeinflußt, daß die Farbpigmenteinlagerung unterbleibt, dagegen

der resistente Kristall die bereits eingelagerte Verbindung umschließt. Die so umhüllten Verbindungen verhalten sich beim Glasurbrand so wie ein resistenter Kristall, da der Glasurfluß nur mit der glasurstabilen Hülle in Kontakt kommt. Außer Cadmiumsulfoselenid ist es auch möglich, andere Substanzen (z. B. kolloidales Gold) auf diese Weise in ein Kristallgitter einzubauen (s. Tabelle). [308, 336, 552, 564]

Zirkoneinschlußfarbkörper

Eingeschlossene Verbindung (Element)	Farbe	Eingeschlossene Verbindung (Element)	Farbe
Ag	Grauviolett	Fe_2O_3	Korall
Au	Blauviolett	MoS_2	Grau
(Au,Ag,Zn)	Rotviolett	$Mo(S,Se)_2$	Grau
(Cd,Hg),(S,Se)	Orange	PbS	Grau
CdS	Gelb	$PbCrO_4$	Gelb
Cd(S,Se)	Rot	Pd	Grau
Cd(S,Te)	Rosa	SnS	Grau
(Cd,Zn)S	Gelb	$TiO_2 \cdot NiSbO_4$	Gelb
$(Co,Zn)Al_2O_4$	Blau	V_2S_3	Grau
Cu-Farben	Grün		

Einsinkfarbe – *s.* Inglasurfarbe

Einstoffsystem – *s.* System 1. Ordnung

Eisendisulfid – *s.* Pyrit

Eisenhydroxide

1) Eisen(II)-hydroxid ($Fe(OH)_2$) – hellgrüner, flockiger Niederschlag, der an Luft zu Eisen(III)-hydroxid oxydiert.

2) Eisen(III)-hydroxid ($Fe(OH)_3$) – amorphes rotbraunes Pulver. Aufgrund von Röntgenanalysen muß angenommen werden, daß $Fe(OH)_3$ als definierte Verbindung nicht existiert, vielmehr gilt allgemein die Formel $Fe_2O_3 \cdot n\,H_2O$. Es ist Hauptbestandteil der Ocker sowie der Eisenfarbe.

3) Eisenoxidhydrate (FeO(OH))

- Nadeleisenerz, Limonit, Goethit, Brauneisenstein, -erz (α-FeO(OH) = $Fe_2O_3 \cdot H_2O$)
  Kristallographie: orthorhombisch
  Physikalische Eigenschaften: hellgelb bis dunkelbraun; $H = 5$ bis 5,5; $D = 3{,}8$ bis $4{,}3\,g\,cm^{-3}$; *o. D.* (natürliche Vorkommen): $n_\alpha = 2{,}05$ bis 2,27, $n_\beta = 2{,}10$ bis 2,41, $n_\gamma = 2{,}11$ bis 2,42, $\Delta n \approx 0{,}14$; $2V \approx 24°$
- Rubinglimmer, Lepidokrokit (γ-FeO(OH) = $Fe_2O_3 \cdot H_2O$)
  Kristallographie: orthorhombisch; Bildung schuppiger bis tafliger Aggregate, seltener als α-FeO(OH)
  Physikalische Eigenschaften: fast farblos bis gelb; $H = 5$; $D = 4{,}09\,g\,cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}941$, $n_\beta = 2{,}20$, $n_\gamma = 2{,}515$, $\Delta n = -0{,}574$; $2V = 83°$

Eisenoxide

1) Eisen(II)-oxid (FeO)

- genauer $Fe_{0{,}90\text{ bis }0{,}95}O$ – amorphes schwarzes, pyrophores Pulver, das durch Reduktion mit H_2 aus Eisen(III)-oxid gewonnen wird.
- Wüstit
  Kristallographie: kubisch; mit MgO, MnO, CaS Bildung von Mischkristallen
  Physikalische Eigenschaften: schwarz; $D = 6{,}0\,g\,cm^{-3}$; $n = 2{,}00$; ein Anteil von 1 Masse-% FeO am Kaolin setzt dessen Kegelfallpunkt nach *Rieke* um 0,7 Brennkegel herab.

2) Eisen(III)-oxid (Fe_2O_3)

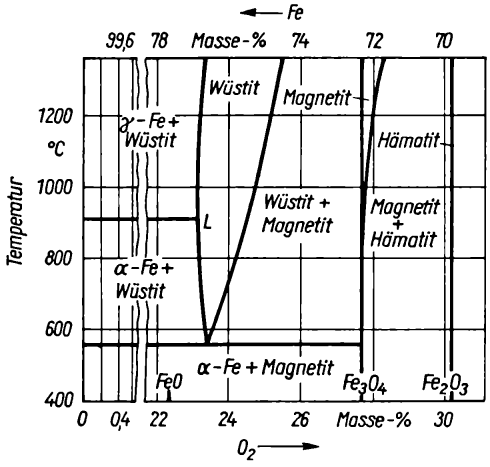
- Roteisen, Hämatit, Blutstein, Eisenglanz

Elmi-Aufnahme: α-Fe_2O_3-Oberfläche (Hüllabdruck, 22 000fache Vergrößerung)

(α-Fe_2O_3; s. Bild)
Kristallographie: trigonal
Physikalische Eigenschaften: rot-schwarz; $H = 5$ bis 6; $D = 5{,}1$ bis $5{,}3\,g\,cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\omega = 3{,}22$, $n_\varepsilon = 2{,}94$ (für Na-Licht), $\Delta n = -0{,}28$; Eigenschaften hängen von den Vorbehandlungen ab.
Verwendung: Rohstoff für Ferrite, Poliermittel (Englischrot), Caput mortuum
- Maghemit (γ-Fe_2O_3)
Kristallographie: kubisch; fehlgeordneter Spinell; bildet mit Fe_3O_4 kontinuierliche Übergänge; geht bei ≈670 °C in das stabile α-Fe_2O_3 über.

3) Magnetit, Hammerschlag (Fe_3O_4)
Kristallographie: kubisch; Spinell
Physikalische Eigenschaften: schwarz; $H = 5{,}5$; $D = 5{,}2$ bis $5{,}4\,g\,cm^{-3}$; $n = 2{,}42$; ferrimagnetisch; leitet Strom gut

E., durch die Rohstoffe meist als Hydroxide mit eingeführt, wirken als Flußmittel und färben den Scherben. Porzellan soll weniger als 0,7 % Fe_2O_3 aufweisen. Während des Brandes geht Fe_2O_3 ab etwa 1 200 °C in Fe_3O_4 über und gibt Sauerstoff ab (Blasenbildung!). E. sind Bestandteile vieler Farbpigmente. s. System Fe – O



System Fe—O, nach *Darken* und *Gurry*

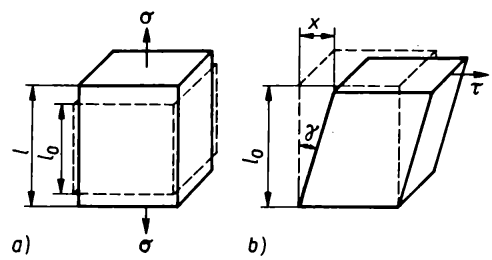
Eisenrot (Kagarot) – *färbender Bestandteil für rote Aufglasurfarben.* Die auf der Grundlage des Eisenoxids aufgebauten alten japanischen Porzellanfarben wurden aus einer Fritte von Sand, Pottasche, Mennige und Soda und feinstem Eisenoxid gewonnen. Nach *Hecht* entspricht dem E. die *Seger*formel:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}76\,PbO\\0{,}14\,K_2O\\0{,}10\,Na_2O\end{array}\right\}\begin{array}{l}0{,}04\,Al_2O_3\quad 1{,}74\,SiO_2\\0{,}25\,Fe_2O_3\end{array}$$

Elastizität (griech.: elastos = dehnbar) – *Fähigkeit eines Körpers, nach Belastungen seine ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen.* Während der Belastungen treten Formänderungen ein, die im Bereich des *Hooke*schen Gesetzes ($\sigma = \varepsilon E$) zu den Spannungen proportional sind. Das *Hooke*sche Gesetz kann sowohl auf die Normalspannungen als auch auf die Schubspannungen bezogen werden. In rheologischen Modellen* wird elastisches Verhalten durch eine Feder symbolisiert.
s. Elastizitätskonstante

Elastizitätskonstanten – *das makroskopische Verhalten isotroper bzw. quasiisotroper Körper bei Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes beschreibende Konstanten.*

1) Elastizitäts-, Dehnungs- oder *Young*scher Modul E
Widerstand gegenüber Längungen, der seine Ursache in den Bindefestigkeiten zwischen den Gitterbausteinen hat (s. Bild *a*).



Elastische Verformungen bei Einwirkungen von Normal- und Schubspannungen
a) Normalspannung: Längenänderung bei Zug $\Delta l = l - l_0$; Dehnung $\varepsilon = \Delta l/l_0$; Querkontraktion $\varepsilon_q = -\nu\varepsilon$ bzw. $\varepsilon_q = -\mu\varepsilon$
b) Schubspannung: Schiebung $\gamma \approx x/l_0$

Die Normalspannung σ tritt senkrecht zur betrachteten Fläche auf und bewirkt eine Längenänderung $\Delta l = l - l_0$ bzw. eine Dehnung $\varepsilon = \Delta l/l_0$ und $E = \sigma/\varepsilon$. Der reziproke Wert von E, also $1/E = \alpha$, wird als Dehnungszahl bezeichnet.
Der E-Modul ist typisch anisotrop; polykristalline Stoffe zeigen infolge der statistischen Verteilung der Gefügebestandteile diese Anisotropie nicht, sie verhalten sich quasiisotrop. In polykristallinen,

mehrphasigen Werkstoffen setzt sich der E-Modul aus einem mittleren Wert der Phasen zusammen:

$E = E_1 V_1 + E_2 V_2 + \ldots$
E_1, E_2 E-Moduln der Phasen 1, 2
V_1, V_2 Volumenanteile der Phasen 1, 2.

Im Falle, daß eine Phase als Matrix vorliegt, in der eine zweite Phase eingelagert ist, gilt nach *Hashin* die Formel

$$E = E_1 \left[1 + \frac{A\left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) V_2}{1 - (A - 1)\left[\frac{E_2}{E_1} + \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) V_2\right]} \right]$$

A Konstante.

Die in keramischen Werkstoffen immer vorhandenen Poren mindern den E-Modul; bei geringer Porosität gilt die Formel:

$$E = E_0 (1 - A\, V_p) \text{ bzw. } E = E_0\, e^{-B\, V_p}$$

E_0 E-Modul des porenfreien Materials
V_p Porenvolumenanteil
A, B Konstanten.

Die Form der Poren hat eine gewisse Bedeutung, so ist z. B. der Einfluß von zylindrischen Poren größer als der kugelförmiger.

Der E-Modul keramischer Werkstoffe liegt in der Größenordnung von 100 bis $400 \cdot 10^3$ MPa, der der Gläser bei 50 bis $80 \cdot 10^3$ MPa und der der Metalle ebenfalls bei 100 bis $400 \cdot 10^3$ MPa, d. h. kein nennenswerter Unterschied zwischen Keramik und Metall.

2) Gleit- oder Schubmodul G

Dieser Proportionalitätsfaktor beschreibt die elastische Verformung bei Schubspannungen τ; Schubspannungen liegen in der betrachteten Fläche und bewirken eine Abscherung und den Winkel γ (auch Schiebzug genannt) (s. Bild *b*). Der reziproke Wert von G, also $1/G = \beta$, wird als Schubkoeffizient bezeichnet.

3) E- und G-Modul sind mit zwei weiteren elastischen Konstanten, dem *Kompressionsmodul K* als Kennzahl für die Volumenänderung eines Körpers unter allseitigem Druck und der *Poissonschen Konstanten* μ als Verhältnis von Querkontraktion ε_q zur Längsdehnung ε, verknüpft durch die Beziehungen

$$K = 1/3\,(1 - 2\,\mu) \text{ und } \mu = \varepsilon_q/\varepsilon \text{ bzw. } \mu = \frac{E}{2G} - 1.$$

Einige elastische Konstanten enthält die folgende Tabelle.
[43, 145, 144]

Elastische Konstanten einiger keramischer Werkstoffe [150]

Werkstoff	E in GN m^{-2}	G in GN m^{-2}	K in GN m^{-2}	μ
Aluminiumoxid	410	165	255	0,23
Zirconiumoxid	190	75	140	0,27
Porzellan	76	32	38	0,17
Siliciumcarbid	480	200	240	0,17
Siliciumnitrid	295	115	235	0,29

Elektret – *Dielektrikum mit einem permanenten Dipolmoment.* (Der Begriff ist sprachlich dem Worte Magnet nachgebildet.)

Als E. werden Eindomänenkristalle geeigneter Wachstumsrichtung herangezogen, deren Dipole durch ein starkes äußeres Feld geordnet werden. Als Werkstoffe kommen Ferroelektrika* des Systems Ba–Pb–$CaTiO_3$ in Betracht; dabei muß die *Curie*temperatur* so hoch sein, daß bei Zimmertemperatur die spontane Polarisation nicht verschwindet. [174]

Elektroden, ionensensitive (Sensitroden; griech.: electron = Bernstein; lat.: sensus = Gefühl) – *eine spezielle Form von Elektroden, bestehend aus einem Keramikschaft und einem mit Epoxidharz festvergossenen Sensormodul.* Sie gestatten die Bestimmung von Ionenaktivitäten und -konzentrationen unmittelbar in Flüssigkeiten, unabhängig von Färbung und Trübungsgrad.

Als Sensormaterialien dienen Silbersulfid, Silberhalogenid, Kupfer-, Blei- und Cadmiumsulfid bzw. -selenid. Die Messung erfolgt durch Eintauchen der s. E. und einer Referenzelektrode (z. B. Kalomelelektrode) in die zu untersuchende Flüssigkeit; als Meßgerät kann ein Gleichspannungsmeßgerät mit einem Eingangswiderstand $>10^{10}\,\Omega$ Verwendung finden.

I. E. werden insbesondere bei der Trinkwasserüberwachung, bei Bodenuntersuchungen, in der Nahrungsgüterwirtschaft, der chemischen Industrie u. a. verwendet. [294]

Elektrofilter – *elektrische Anlage zur Abscheidung fester und flüssiger Verunreinigungen aus Gasen/Luft.*

Die Gase strömen zwischen Elektroden durch ein elektrostatisches Feld, das durch Anlegen einer Gleichspannung von 40 bis 80 kV erzeugt wird.
E. sind besonders geeignet zur Abscheidung von Feinststäuben bei geringem Rohgasstaubgehalt. Die Anströmgeschwindigkeit beträgt 2000 bis 4000 $m^3 m^{-2} h^{-1}$, der Druckverlust 10 bis 40 Pa. Es werden Entstaubungsgrade von 90 bis 99,5% erreicht.

Elektrokeramik – *Sammelbegriff sowohl für Werkstoffe und Erzeugnisse, die für den Einsatz in der Elektrotechnik im weitesten Sinne vorgesehen sind, als auch für den Industriezweig, der diese Artikel herstellt.*
Als Geburtsstunde der E. kann das Jahr 1850 angesehen werden, als *Werner v. Siemens* erstmals glasiertes Porzellan als Freileitungsisolatoren für Niederspannung in der Fernmeldetechnik einsetzte. Seine Wahl, Porzellan als Isolierstoff zu verwenden, basierte auf der Beobachtung, daß dichte keramische Werkstoffe gegen Alterung beständig und gegen Atmosphärilien resistent sind.
Als 1861 die erste Hochspannungsleitung Lauffen–Frankfurt gebaut wurde, griff man ebenfalls auf Porzellan als Isolierstoff zurück; man hatte erkannt, daß Porzellan gegenüber elektrischen Entladungsfunken entlang der Oberfläche des beanspruchten Isolierkörpers völlig unempfindlich ist.
Mit der Weiterentwicklung der Technik erfuhr auch die elektrokeramische Industrie um 1920 einen wesentlichen Aufschwung durch Entwicklung von Werkstoffen mit neuen Eigenschaften wie Steatit*, Mullit*, Korund* u. a. Die Forschung der letzten Jahre brachte eine Vielzahl weiterer neuer Werkstoffgruppen auf den Markt und erschloß damit neue Anwendungsgebiete für die Keramik, so daß man jetzt zweckmäßig entsprechend der Anwendung unterscheidet:
- Funktionskeramik*,
- Konstruktionskeramik*,
- Sonderkeramik*,
- Strukturkeramik*.

Elektrolyte – *Verbindungen, die im geschmolzenen Zustand oder in wäßriger Lösung in Kationen oder Anionen mehr oder weniger dissoziieren und den elektrischen Strom als sog. Ionenleiter leiten.* Zu den E. zählen Salze, Säuren, Basen. Im keramischen Sprachgebrauch werden mit E. Hilfsmittel zur Herstellung von Gießschlicker, z. B. Soda, bezeichnet; besser sollten dafür die Ausdrücke Peptisationsmittel oder Entflocker* verwendet werden.

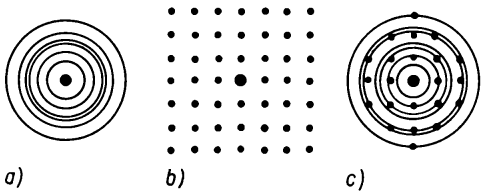
Elektronenbeugung – *Verfahren zur Bestimmung der Struktur* kleinster Feststoffteilchen bzw. Oberflächenbereiche anhand von Beugungsringen bei Durchstrahlung mit dem Elektronenmikroskop.* In günstigen Fällen bei glatter Probenoberfläche ist eine Untersuchung dickerer Präparate in streifender Beugung möglich.
Die E. stellt ein Analogikum zur Röntgenbeugung dar (s. Tabelle). Da Elektronenstrahlen wesentlich kurzwelliger als Röntgenstrahlen sind, ordnen sich die Beugungsmaxima enger um den Primärstrahl. Für die E. gilt ebenfalls die in der Röntgenanalytik gültige *Bragg*sche Gleichung; der Beugungsmechanismus ist jedoch gegenüber der Beugung von Röntgenstrahlen anders. Während Röntgenstrahlen nur an den Elektronenhüllen reflektiert werden, werden Elektronenstrahlen in der Hauptsache im Feld der Atomkerne reflektiert und liefern stärkere Interferenzintensitäten. Proben, die aus einer feinkörnigen Matrix und eingesprengten Kristallen bestehen, können Ringe und Einzelreflexe überlagert auf einer Empfängerplatte zeigen. Texturen* in polykristallinen Proben äußern sich in ungleichmäßigen Intensitätsverteilungen der Beugungsringe entsprechend dem *Debye-Scherrer*-Verfahren* (s. Bild S. 110 oben). [31, 280, 281]

Vergleich wichtiger Daten der Elektronenbeugung mit denen der Röntgenbeugung

Kriterien	Elektronenstrahlen	Röntgenstrahlen
Wellenlänge in nm	0,0001[1])...0,004 ...0,007	0,07[2])...0,15...0,23
Eindringtiefe in nm	1...10	1000...10000
Belichtungszeit	einige s	einige min bis h
Präparatmenge	dünne Filme von 10^{-7} cm Dicke Kristalle von 10^{-12} g	allgemein mindestens 0,1...10 mg
Unmittelbare Beobachtung auf dem Leuchtschirm	möglich	i.d.R. nicht möglich

1) im Höchstspannungselektronenmikroskop (HEM) bei Strahlspannung von 1 Mill. Volt
2) für Mo-Strahlung

Elektronenmikroskopie – *Verfahren zur vergrößerten Abbildung der Morphologie* von Objekten durch Verwendung von Elektronenstrahlen.* Wegen



Schematisches Beugungsglied für Durchstrahlung und Reflexion
a) für polykristalline Substanzen
b) für einkristalline Substanzen
c) für Gemische bei den Substanzen, z. B. als kristalline Einsprenglinge in einer feinstkörnigen Matrix

der kürzeren Elektronenwellenlänge haben Elektronenmikroskope ein um 2 bis 3 Zehnerpotenzen besseres Auflösungsvermögen als Lichtmikroskope.

Grundsätzlich werden in der E. folgende zwei Verfahren unterschieden:

1) Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Durchstrahlungsmikroskopie (lat.: trans = hindurch, mittere = schicken)

Die Transmissionselektronenmikroskopie ist nur möglich bei »elektronendurchlässigen« Objekten von nur wenigen 100 nm Dicke; d. h., es sind zur Objektvorbereitung entsprechende Präparationstechniken erforderlich, wobei man unterscheidet:

- Verdünnung des Objektes auf die erforderliche Schichtdicke (Diese Präparationstechnik hat allerdings von polykristallinen keramischen Materialien bisher wenig zufriedenstellende Ergebnisse geliefert.);
- es werden objektgetreue Oberflächenabdrücke mittels organischer Matrizen hergestellt, die zur besseren Kontrastierung noch beschattet werden (Diese Methode wird in der keramischen Forschung am meisten angewendet.);
- Aufdampfen dünner Schichten* im Hochvakuum (Bei Durchstrahlung dieser Objekte können durch eine sog. Elektronenbeugung* Aussagen über die Struktur des Präparats gemacht werden.).

Der Abbildungsstrahlengang der T. ist ähnlich dem Strahlengang des Durchlichtmikroskopes (s. Bild).

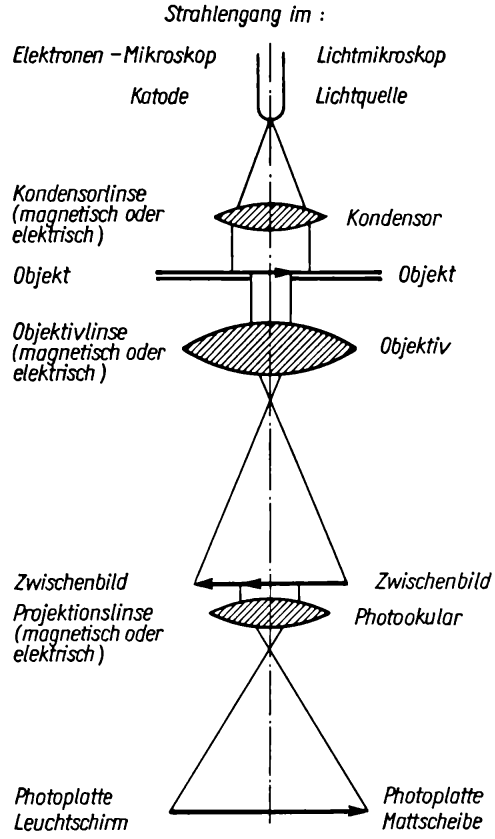
Ähnlich wie das Lichtmikroskop erlaubt auch das Transmissionselektronenmikroskop eine Dunkelfeldabbildung durch Strahlkippung oder Verschiebung der Kontrastblende. Das Dunkelfeld zeigt gegenüber der Hellfeldabbildung Kontrastumkehr; stark streuende Objektbereiche verursachen helle Bildstrukturen (Bilder über Untersuchungen an keramischen Roh- und Werkstoffen siehe Anhang).

2) Rasterelektronenmikroskopie (REM)

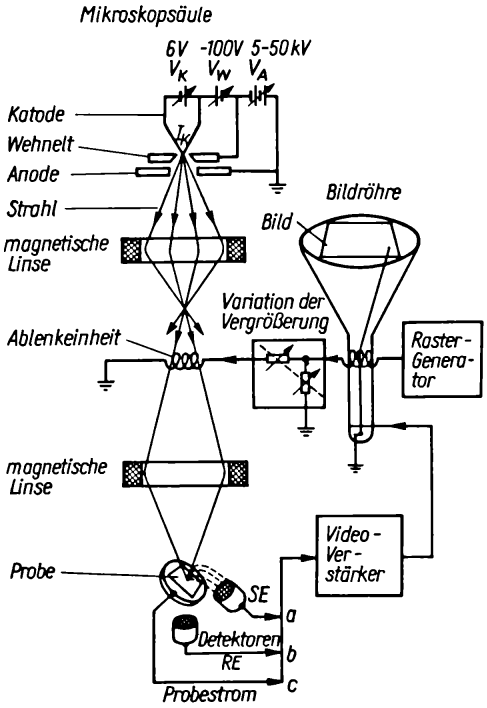
Sie bietet in der keramischen Forschung die universellsten Einsatzmöglichkeiten und eignet sich zur Darstellung

- der Oberflächentopologie,
- des durch Ordnungsunterschiede verursachten Materialkontrasts,
- geringer ortsabhängiger Konzentrationsunterschiede mit Hilfe emittierter Lichtquanten,
- der Oberflächenpotentiale intern und extern erzeugter elektrischer Felder.

Aufbau und Wirkungsweise des Rasterelektronenmikroskops zeigt das Bild S. 111.



Vergleich der Strahlengänge im Licht- und Elektronenmikroskop



Aufbau und Wirkungsweise des Rasterelektronenmikroskops

Mit einer Strahlspannung von 10 bis 50 kV aus einer Glühkatode im Hochvakuum austretende Elektronen werden durch elektromagnetische Linsen zu einem Primärstrahl mit einem Durchmesser $d = 1000$ nm gebündelt. Ablenkspulen führen den Elektronenstrahl in 1000 oder mehr Zeilen über ein quadratisches Abtastfeld der Objektfläche. Die beim Auftreffen des Strahls ausgelösten Signale können durch spezielle Empfänger (Detektoren) aufgenommen, über einen Szintillator in Lichtblitze und diese in einem Sekundärvervielfacher in Stromstöße umgewandelt werden. Die verstärkten Stromstöße modulieren die Helligkeit einer Bildröhre, deren Zeilenablenkung synchron verläuft mit der Ablenkung des Primärelektronenstrahls über dem Objekt. Auf der Bildröhre entsteht ein Rasterbild zeilenförmig aneinander gereihter Punkte, deren Helligkeit z. B. der Menge der ausgelösten Sekundärelektronen proportional ist.

Die in kleinsten Stufen veränderliche Ausdehnung des Objektabtastfeldes zwischen etwa 5 mm und 2 µm Kantenlänge erlaubt einen Vergrößerungsspielraum zwischen 100:1 und 100000:1 auf dem Bildschirm. Bemerkenswert ist die außerordentlich gute Schärfentiefe des REM-Verfahrens, die es ermöglicht, noch bei Vergrößerungen über 1000:1 annähernd beliebig gestaltete Strukturen zu beobachten. Damit ist die Rasterelektronenmikroskopie zur Untersuchung von Bruchgefügen, von Sinterzuständen und pulverförmigen bzw. agglomerierten Materialien prädestiniert (s. rasterelektronenmikroskopische Bilder im Anhang). [117, 279, 280, 281]

Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA-»Mikrosonde«) – Bei der Mikrosonde handelt es sich im Prinzip um ein durch ein Röntgenspektrometer ergänztes Rasterelektronenmikroskop. Sie ermöglicht eine Untersuchung kleinster Probenbereiche mit gleichzeitiger Elementbestimmung dieser Bereiche (s. Bilder a–c S. 112). Die Anregung zur Röntgenstrahlung der Probensubstanz erfolgt durch Elektronenbeschuß. Dazu wird mit Hilfe eines elektronenoptischen Systems ein feiner Elektronenstrahl – die Elektronensonde – auf den ausgewählten Oberflächenbereich des mikroskopischen Präparats fokussiert. Die auftreffenden Elektronen erzeugen eine Röntgenstrahlung, die sich aus Bremsstrahlung und charakteristischer Strahlung der Oberflächenelemente zusammensetzt. Das kleinste Probenvolumen, das damit untersuchbar ist, liegt in der Größenordnung 1 bis 0,1 µm³. Den schematischen Aufbau eines Elektronenstrahl-Mikroanalysators zeigt das Bild S. 112.

Man unterscheidet:

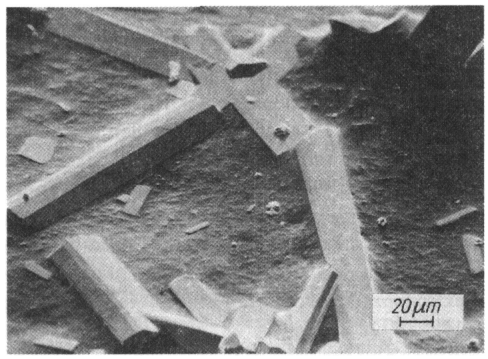
1) Wellenlängendispersive ESMA

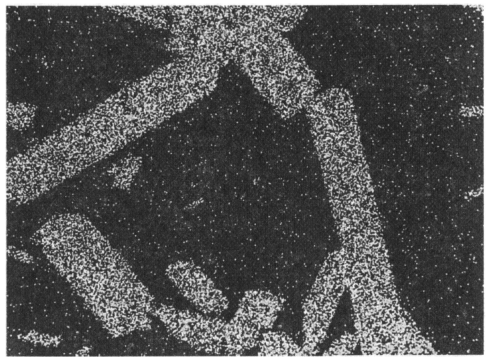
Diese Methode beruht auf der *Bragg*schen Reflexion von Röntgenstrahlen am Kristallgitter, wenn der Netzebenenabstand eines Kristalls, der Einfallwinkel ϑ der Röntgenstrahlung und deren Wellenlänge λ die *Bragg*sche Bedingung erfüllen.

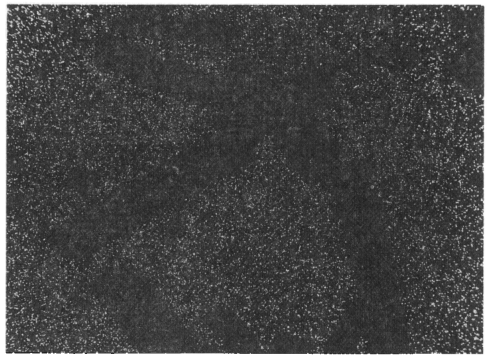
Dieses Verfahren erfaßt noch leichte Elemente bis zur Ordnungszahl 4, die Nachweisgrenze liegt im Bereich zwischen 0,001 bis 0,1 %.

2) Energiedispersive ESMA

Dieses Verfahren arbeitet ohne Beugungskristall; die Röntgenstrahlung wird nicht nach Wellenlängen sortiert, sondern gelangt unsortiert auf einen lithiumgedrifteten Siliciumdetektor. Dieser Detektor garantiert eine fast vollständige Umwandlung der Röntgenquanten in Elektronen.

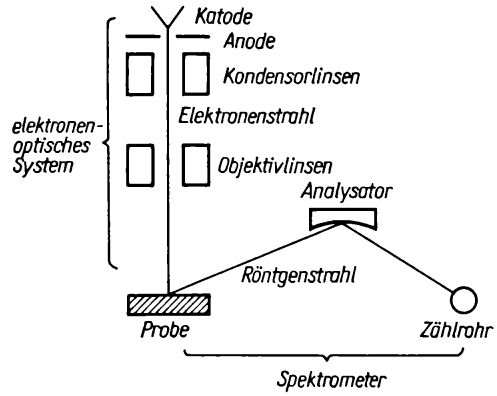






a) Sn-Haarkristalle auf Grauglasur (Sekundärelektronen 15 kV; Aufnahmen Dr. *Bürger*)
b) Sn-Verteilung
c) Si-Verteilung

Die zunächst noch analog vorliegenden Signale werden über einen Analog-Digital-Converter digitalisiert und mit Hilfe eines Impulshöhenanalysators für die weitere Verarbeitung einem Vielkanalanalysator zugeleitet. Durch Einteilung des gesamten Energiebereiches in etwa 400 bis 1 000 Kanäle läßt sich eine digitale Darstellung des gesamten Spektrums simultan auf einem Bildschirm erreichen, d. h., es ist damit möglich, in Kombination mit einer REM-Aufnahme den dazugehörigen Elementnachweis simultan darzustellen.



Schematischer Aufbau eines Elektronenstrahl-Mikroanalysators (Mikrosonde)

[31, 117, 280, 281]

Elektroöfen – *elektrisch beheizte Industrieöfen.* *1*) Nach ihrer Wirkungsweise werden unterschieden:

- Widerstandsöfen nutzen die beim Stromdurchgang durch einen ohmschen Widerstand entstehende Wärme aus. Die Erwärmung des Sintergutes kann indirekt durch Heizleiter (Siliciumcarbid, Heizlegierungen, Kohlegrieß u. a.) oder direkt, indem das Sintergut selbst als Heizleiter dient (besonders in der Pulvermetallurgie), erfolgen.
- Lichtbogenöfen nutzen die Wärmewirkung eines elektrischen Lichtbogens aus, wobei ebenfalls indirekte oder direkte Erwärmung des Gutes möglich ist.
- Induktionsöfen werden in der Keramik selten verwendet. Sie sind nach dem Prinzip des Transformators aufgebaut; das Schmelz- bzw. Sintergut wirkt dabei als Sekundärwicklung.

2) Im Prinzip ist es möglich, die meisten keramischen Artikel in E. zu brennen; Dekorbrände werden vorzugsweise in E. vorgenommen. Schutzgasöfen* werden grundsätzlich elektrisch beheizt.

Als Vorteile der E. sind anzuführen:

- saubere Betriebsweise,
- gute Regelbarkeit des Gesamtwärmehaushalts,

- stete Einsatzbereitschaft,
- keine Wärmeverluste durch Abgase,
- Wegfall von Brennkapseln,
- Wegfall von Transport und Lagerung von Brennstoffen.

Als Nachteile stehen gegenüber:

- ausgesprochene Reduktionsbrände sind nur durch Einleitung reduzierend wirkender Gase oder Einwerfen von Holz/Kohle durch entsprechende Öffnungen in den Ofenwänden möglich,
- es muß künstliche Belüftung zur Abführung von Zersetzungsprodukten vorgesehen werden,
- eine Wärmerückgewinnung aus abkühlender Ware ist im allg. unwirtschaftlich,
- Heizelemente unterliegen Alterung und Verschleiß,
- höhere Energiekosten gegenüber brennstoffbeheizten Öfen.

In jedem Falle ist der Einsatz von E. eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Es ist empfehlenswert, über einen bestimmten Ofenquerschnitt bzw. Brennraumvolumen nicht hinauszugehen (Strahlungsverluste).

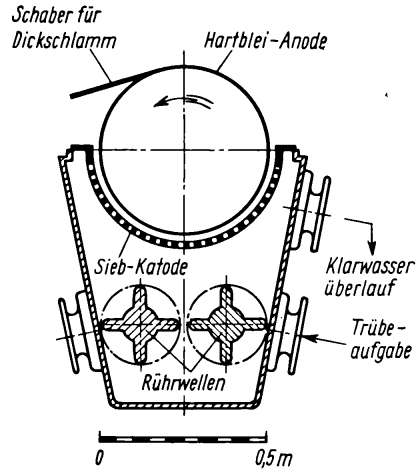
s. Gradientenofen, Haubenofen, Herdwagenofen

Elektroosmose (griech.: osmos = Stoßen) – *elektrokinetische Erscheinung bei der Elektrolyse durch ein Kapillarsystem.* Sie ist gekennzeichnet durch eine Relativbewegung des Dispersionsmittels gegen die ruhende disperse Phase. Technische Anwendung findet sie bei der Entwässerung von Tonerde oder feuchtem Mauerwerk, Entsalzen von Wasser u. a.

Elektrophorese (griech.: phora = Bewegung) – *Wandern kolloid- oder molekulardisperser Teilchen im elektrischen Feld.*

Kleine Teilchen laden sich in Flüssigkeiten (*Coehn*sches Aufladungsgesetz*) elektrisch auf und bilden eine sog. Doppelschicht aus. Bei Anlegen einer Gleichspannung wandern die positiv geladenen Teilchen zur Katode (Kataphorese) und die negativ geladenen zur Anode (Anaphorese). In wäßriger Aufschlämmung sind Tonminerale negativ geladen und wandern damit zur Anode. Nach Untersuchungen von *Horikawa* übt dabei der *p*H-Wert einen gewissen Einfluß auf die Wanderungsgeschwindigkeit aus (s. nebenstehendes Bild).

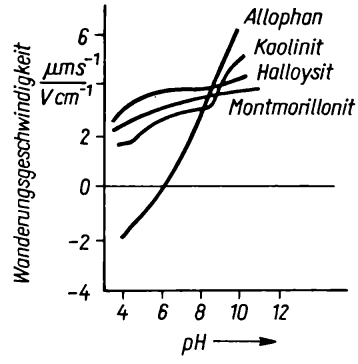
Ein weiterer wesentlicher Einfluß auf die Wanderungsgeschwindigkeit kann durch Zusätze zu den Aufschlämmungen erreicht werden, z. B. verrin-



Prinzip der elektrophoretischen Kaolingewinnung

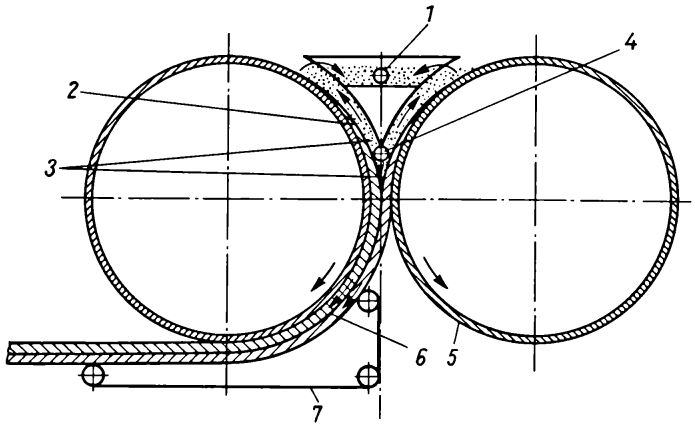
gern kationische Tenside* die Wanderungsgeschwindigkeit von Kaolinit und Halloysit bis zur Umkehr der Wanderungsrichtung, während Montmorillonit nur wenig beeinflußt wird. Ähnliche Wirkungen üben noch Thorium-IV-Ionen aus, während anionische Tenside die Wanderungsgeschwindigkeit erhöhen. Damit ist die Möglichkeit der Trennung eines Kaolins in die einzelnen Tonminerale gegeben. Als technischer Aspekt zeichnet sich elektrophoretisches Gießen ab (s. Bilder oben und S. 114). [282]

Elektroporzellane – *Gruppe von Porzellanen mit elektrotechnisch günstigen Eigenschaften, wie hohe Durchschlagfestigkeit, hohe mechanische Festigkeit.*



Abhängigkeit der elektrophoretischen Wanderungsgeschwindigkeit verschiedener Tonminerale vom *p*H-Wert

E. werden zum überwiegenden Teil in der Hochspannungstechnik (Hochspannungsisolatoren)



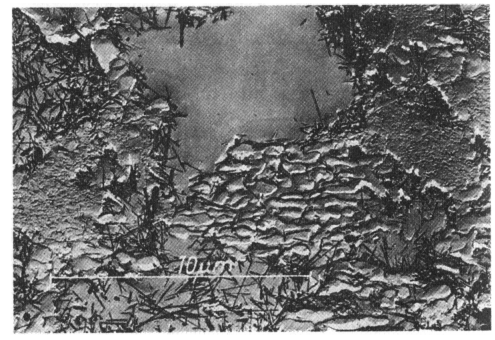
Elektrophoretisches Gießen nach dem Prinzip »Elephant«
1 Schlickerablauf
2 Scherben
3 Katode
4 Schlickerzulauf
5 Anode
6 Masseband
7 Transportband

eingesetzt; nur ein kleiner Teil wird mit verminderten Forderungen in der Niederspannungstechnik (Niederspannungsisolatoren) verarbeitet.
TGL 7838 bzw. DIN 40685 unterscheidet:
- quarzreiche Porzellane mit der ungefähren rationellen Zusammensetzung 30 bis 55% Quarz, 18 bis 25% Feldspat und 32 bis 40% Kaolin/Tongemisch – der Tonanteil kann bis 10% betragen, da keinerlei Forderungen an Transparenz bestehen; die Biegefestigkeit des glasierten Scherbens beträgt mindestens 80 MPa,
- tonerdereiche Porzellane mit bis zu 45% freier Tonerde, etwa 30% Kaolin/Ton, etwa 25% Feldspat und etwa 5% Quarz – die Biegefestigkeit des glasierten Scherbens beträgt mindestens 190 MPa.

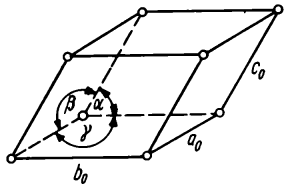
Gegenüber quarzreichen Porzellanen zeichnen sich Tonerdeporzellane durch eine leichter beherrschbare Brennführung, höhere mechanische Festigkeit und eine bessere Temperaturwechselbeständigkeit aus, verursacht durch den höheren *E*-Modul von Korund und Mullit gegenüber Quarz (*E*-Modul Quarz liegt fast in gleicher Größenordnung wie der der Glasphase), zum anderen unterliegen diese Phasen beim Aufheizen und Abkühlen keinen displaziven Umwälzungen. Diesen Vorteilen stehen allerdings höhere Rohstoffkosten und größerer Werkzeugverschleiß gegenüber (s. nebenstehendes Bild).
E. werden gewöhnlich mit einer unter leichter Druckspannung stehenden deckenden Glasur* versehen ($\alpha_{Glasur} < \alpha_{Scherben}$). [14]
s. Porzellan (allg.), Braunglasur

Elektrostriktion (lat.: stringere = zusammenziehen) – *Eigenschaft des Dielektrikums, sich im elektrischen Feld elastisch zu deformieren.* Wegen der Polarisation des Dielektrikums ordnen sich die Dipole in Feldrichtung. Da einem positiven Pol jeweils ein negativer gegenübersteht, nähern sich die Moleküle so lange einander, bis die elastischen Gegenkräfte von derselben Größenordnung sind wie die des elektrischen Feldes.

Elementarzelle – *kleinste räumliche Einheit eines Festkörpers.* Jedes Kristallgitter kann in eine sehr große Anzahl von gleich großen Parallelepipeden aufgeteilt werden; ihre Eckpunkte werden als translatorisch identisch definiert, weil sie durch einfache Parallelverschiebung ineinander übergeführt werden können. Eines dieser Parallelepipede bezeichnet man als E. oder Gittergrundzelle (s. Bild). Die Kanten a_0, b_0 und c_0 stellen die kürzesten Identitätsabstände in Richtung der drei kristallographischen Achsen dar. Durch diese drei



Tonerdeporzellan – Bruch – mit den Phasen α-Al_2O_3, Mullit verschiedener Genesis und Glasphase (C-Pt-Beschattung 60°)



Trikline Elementarzelle mit den Gitterkonstanten a_0, b_0, c_0, $\sphericalangle\ \alpha, \beta, \gamma$

Kanten und die drei sie verbindenden Winkel α, β, γ ist die räumliche Gestalt der E. festgelegt. Die Kanten und Winkel werden deshalb auch Gitterkonstanten genannt. Die Daten über die E. werden aus der Röntgenfeinstrukturanalyse oder aus der Elektronenbeugung erhalten.

Elevator (lat.: elevare = emporheben) – *Fördereinrichtung, bei der Aufnehmer an einem ständig umlaufenden Band oder einer Kette das zu fördernde Gut transportieren.* Besatz-(Schaukel-)E. dienen der Förderung von Stückgütern, von frischen Formlingen und von solchen in Trocknern. Sie werden auch zum Besetzen von Tunnelofenwagen, zur Überbrückung von Produktionsstraßen, als Vorratspuffer usw. benutzt.

Elfenbeinporzellan – *Porzellan mit elfenbeinähnlichem, mattglänzendem Aussehen.* Dieses Aussehen ist zu erreichen:

- durch besondere Feuerführung beim Brennen (oxydierende Atmosphäre bzw. Abkühlungsperiode), erstere bei 1 230 bis 1 300 °C,
- durch Färben der Masse mit Manganverbindungen, auch durch Zugabe von 5 % Zirconiumdioxid, und anschließendes Überziehen mit einer farblosen Glasur;
- durch Färben der Glasur. Eine elfenbeinfarbene Glasur erreicht man durch Zusatz von 3,5 bis 4,0 % Manganverbindung, dazu kommt etwas Zirkontrübungsmittel, damit der Scherben an den Rändern nicht durchscheint und der Elfenbeinfarbton stabilisiert wird, oder auch durch einen Zr-V-Farbkörper. Durch die Elfenbeinglasur verändern sich alle Farbtöne von Aufglasurfarben, mit Ausnahme von Wappenrot. E. wurde zuerst im 18. Jh. in Worcester, später auch in Berlin u. a. Orten hergestellt.

Email (lat.: smaltum = Schmelzglas) – *eine – in Anlehnung an Dietzel (1940) – durch Schmelzen oder Fritten* (Sintern) entstandene, vorzugsweise glasig erstarrte Masse von anorganischer, in der Hauptsache oxidisch-silicatischer Zusammensetzung, die in einer oder mehreren Schichten, teils mit Zuschlägen (z. B. Farbkörper*, Trübungsmittel*) auf Werkstücke aus Metall aufgeschmolzen wird.* In besonderen Fällen kann das E. nach gesteuerter Entglasung in weitgehend kristalliner oder teilkristalliner Form vorliegen.

Glasuren* und Lacke sind keine E., dagegen ist die Bezeichnung E. für anorganisch-glasige Beschichtung auf Glas in der BRD ausdrücklich erlaubt.

- Grundemails; sie werden direkt auf die Metalloberfläche aufgebracht, enthalten Haftoxide (CoO, NiO u. a.) und sind im wesentlichen für die Haftung verantwortlich,
- Deckemails; sie gewährleisten die für den jeweiligen Einsatz erforderlichen Eigenschaften (chemische Resistenz, Abriebfestigkeit, Porenfreiheit, elektrischer Widerstand, Durchschlagfestigkeit, Strahlungseigenschaften u. a.).

Das Problem der unterschiedlichen *WAK* Metall – Email ($\alpha_M > \alpha_E$) bereitet technisch keine Schwierigkeiten [91].

E. zeichnen sich durch hohe Korrosionsfestigkeit, große Härte und niedrigen Preis aus. Weitere Vorteile sind aufgrund der Oberflächengüte und vielfältigen Farbgebungsmöglichkeiten ihre ästhetische Wirkung und gutes hygienisches Verhalten. Emailliert werden vorwiegend Gußeisen, Stahl, Aluminium, für Sonderzwecke auch andere Metalle. Das Kunsthandwerk verwendet für Schmuckemails, die vorwiegend ästhetische Aufgaben erfüllen, Kupfer und seine Legierungen als Basis.

Emission (lat.: emittere = fortschicken)

1) Physik – *Aussendung einer Wellen- oder Teilchenstrahlung,* z. B. Licht durch leuchtende Körper, Elektronen aus Festkörperoberflächen bei der Glüh- oder Feldemission und α-, β-, γ-Strahlung durch radioaktive Stoffe.

Während die spontane E., z. B. als Lichtausstrahlung nach Ablauf der Lebensdauer eines angeregten Zustandes von Atomen oder Molekülen, ohne äußeren Anlaß erfolgt, tritt die induzierte E. beim Einfall von Strahlung, z. B. Licht, auf Atome oder Moleküle als Umkehrvorgang der Absorption* auf. Die induzierte E. ist die Grundlage für Laser (s. Kohlendioxidlaser).

2) Umweltschutz – *Aussendung von festen, flüssigen und/oder gasförmigen luftverunreinigenden Stoffen und Energien in die Atmosphäre.* Die E. geht von Produktionsanlagen, Wohnungen, Aggregaten, Fahrzeugen, aber auch von natürlichen Vorgängen

(z. B. Vulkanausbruch) aus. Die Energien können in Form von Wärme, Lärm, Erschütterungen, radioaktiver Strahlung u. a. die Umwelt belasten. Durch die E. werden die natürliche Zusammensetzung und die physikalischen Parameter der Atmosphäre verändert. Die Einwirkungen der E. auf die Umwelt bezeichnet man als Immission.* [160, 211]

s. Abgasanalyse, Fluoremission, Stäube, nichtoxidische, Elektrofilter

Emissionsgrenzwert – *Kennziffer für die Begrenzung der Schadstoffabgabe.* Sie wird angegeben als maximal zulässige Schadstoffmenge je Zeiteinheit oder je Produktionseinheit oder auch als zulässige Schadstoffkonzentration im Abgas bei definiertem Abgasstrom. Der E. ist nach hygienischen Erfordernissen, der Belastung des Territoriums, dem wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstand und den volkswirtschaftlichen Möglichkeiten unter Berücksichtigung der internationalen Erfahrungen festzulegen.

s. Immissionsgrenzwerte

Emulgator

1) Spezieller Peptisator, der die Emulgierung, d. h. die Überführung zweier nicht mischbarer Flüssigkeiten in ein kolloiddisperses System, fördert. Der E. setzt die Grenzflächenspannung zwischen den beiden Flüssigkeiten herab. Bei Öl-in-Wasser-Emulsionen müssen die grenzflächenaktiven E.-Moleküle in Wasser löslich sein und lipophile Gruppen haben. Bei Wasser-in-Öl-Emulsionen müssen sie sich in Öl lösen und hydrophile Gruppen haben. Zusätze von E. zu Preßmassen verbessern die Preßeigenschaften.

2) Gefäß, in dem ein Rührer sich sehr schnell dreht, dabei das Mischgut in der Schwebe hält und für eine intensive Durchmischung sorgt.

Emulgieren (lat.: emulgere = ausschöpfen) – *Erzeugen eines kolloiddispersen Systems*, bei dem eine Flüssigkeit (disperser Bestandteil) innerhalb einer nicht mit ihr mischbaren anderen (Dispersionsmittel) vorliegt. E. geschieht mit Rührwerken*, Ultraschall oder Vibration.

s. Tenside

Enantiotropie (griech.: en = innerhalb, tropos = Wendung) – *die Erscheinung, daß zwei Modifikationen reversibel ineinander umwandelbar sind*, z. B. β-Quarz $\rightleftharpoons$ α-Quarz. Verläuft eine Umwandlung irreversibel, spricht man von *Monotropie*.

Endoprothesen (griech.: endon = innerlich, prothesis = Schaustellung) – *implantierter künstlich geschaffener Körperteil*, der die Funktion eines durch Krankheit oder Unfall zerstörten Körperteiles übernimmt.

s. Biokeramik, Keramik-Dauerimplantate

Energie (griech.: energeia = Kraft, Tätigkeit) – *Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu leisten.*

1) Die E. eines thermodynamischen Systems ist die von seinem Zustand bestimmte, in ihm gespeicherte Fähigkeit, über seine Grenzen Arbeit oder Wärme bei gleichzeitiger Änderung seines Zustandes an andere Systeme unmittelbar oder durch Strahlung abzugeben.

2) Energiequalitäten: Energie = Exergie* + Anergie* bzw. $E = E_{\mathrm{I}} + E_{\mathrm{II}}$. Danach lassen sich drei Klassen von Energien unterscheiden:

- Energiearten, die nur aus Exergie bestehen. Diese sind die technische Arbeit sowie aufgrund der Gleichheit von Bezugszustand und Umgebungszustand die mechanische kinetische sowie die elektrische Energie.
- Energiearten, die aus Anergie und Exergie zusammengesetzt sind; hier ist in erster Linie die thermische Energie zu nennen.
- Energiearten, die nur aus Anergie bestehen. Dies ist jede Energie eines Körpers, dessen Zustand gleich dem der Umgebung ist oder dessen Exergie gleich Null ist.

3) Die Einheit der Energie ist das J bzw. entsprechende Vielfache (kJ, MJ usw.). Für besondere Zwecke ist kW h zugelassen; $1\ \mathrm{kW\,h} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$. [56, 67]

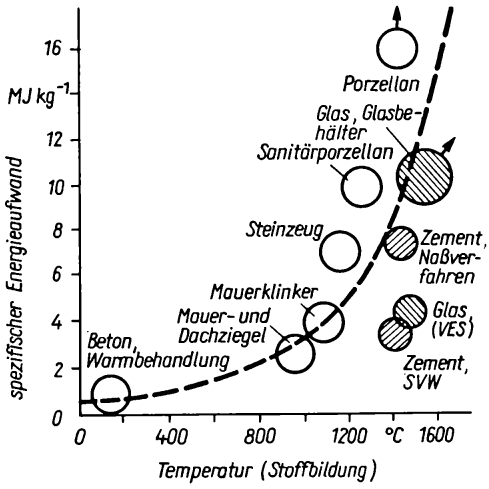
Energieaufwand – *Bedarf an Energie zur Erzielung der Gebrauchswerteigenschaften eines Produktes.* In der Keramik ist E. zweckmäßig zu unterteilen in:

1) Theoretische E. – Energiemenge, die zum Stoffbildungsprozeß erforderlich ist. Sie ist relativ niedrig und beträgt z. B. nach Berechnungen von *E. Schlegel* für 1 kg Porzellan 558,2 kJ (Das sind weniger als 5 % des tatsächlich benötigten E.)

2) Nutzenthalpie – Energiemenge, die zum Aufheizen des Brenngutes auf Prozeßtemperatur erforderlich ist. Sie ist unvermeidbar und beträgt etwa 10 bis 30 % des tatsächlichen E.

3) Realer E. – tatsächlich eingesetzte Energiemenge zur Durchführung des Brandes. Sie wird außer von der Stoffbildungstemperatur, der Reaktionsgeschwindigkeit des Systems und dem Gefügezustand der Ausgangssubstanz vor allem durch

das Brennaggregat (einschl. aller Verluste) bestimmt. Eine Übersicht über die spezifischen E. einer Anzahl silicatischer Systeme gibt die folgende Grafik nach *Storm* und *Pilling* wieder (s. Bild).



Abhängigkeit des spezifischen Energieaufwandes silicatischer Erzeugnisse von der Stoffbildungstemperatur

Als allgemeiner Trend zeichnen sich Überlegungen und Veränderungen zur Senkung des E. ab. Es scheinen dafür geeignet:

- Intensivierung des Ofenbetriebes (z. B. Schnellbrandtechnologie*),
- Energieverlustsenkung (Senkung der Abgasverluste, Wandverluste, Ausfahrtverluste, Minderung der Speicherverluste),
- gezielte Anfallenergienutzung (Verwertung der Abgasenthalpie, Rückgewinnung der Besatzenthalpie),
- Nutzenthalpiesenkung durch Verminderung der effektiven Brenngutmasse und Senkung der erforderlichen Prozeßtemperaturen (Verwendung von wirkungsvolleren Flußmitteln, Zusatz von Mineralisatoren, Erhöhung der Rohdichte des Formlings, Vergrößerung der spezifischen Oberflächen der Ausgangswerkstoffe, Einsatz thermisch nicht vorbehandelter feuerfester Baustoffe u. a.).

[299 bis 301]

Energiekonstante (Regelfaktor) – *Größe, die die Temperaturabhängigkeit eines Heißleiters beschreibt* (in K). Der Betrag ist vom Werkstoffsystem und dessen spezifischem Widerstand abhängig. Innerhalb eines Werkstoffsystems gilt näherungsweise die Beziehung E. ~ ln ϱ (spezifischer Widerstand).

Energiewirtschaft – *Teil der Wirtschaft, der der Deckung des Energiebedarfs mit technischen Mitteln dient.*

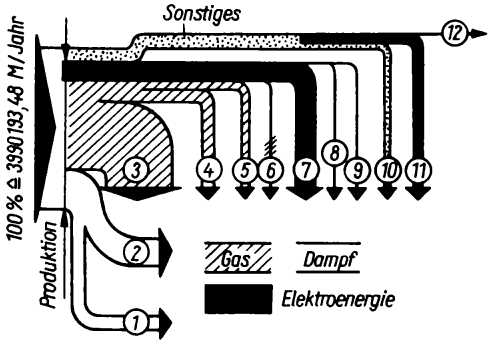
Allgemein beschäftigt sich die Wissenschaft E. mit der Beschreibung der technischen Energieumwandlung mit dem Ziel einer optimalen Auslegung und einer optimalen Betriebsweise, d. h. mit Erzeugung, Verarbeitung, Transport und Nutzung der Energieträger (Kohle, natürliche und technische Gase, Erdöl, Dampf, Elektroenergie, Druckluft u. a.) unter besonderer Berücksichtigung aller Maßnahmen zu ihrer wirtschaftlichen Anwendung.

Zur Bewertung bedient sich die E. thermodynamisch-energetischer und energiewirtschaftlich-kostenmäßiger Modelle. Aufgrund der Substituierbarkeit der verschiedenen Energieträger sind dabei jeweils eigene Methoden entwickelt worden. Teilgebiete der E. sind u. a. die Wärmewirtschaft, die Elektroenergiewirtschaft, die Gaswirtschaft.

Für die keramische Industrie lassen sich z. B. aus Energiebilanzen, *Sankey*diagrammen* u. a. Gesamtkostenflußbilder aufstellen, aus denen sich Maßnahmen zur Senkung des spezifischen Energieaufwands* ableiten lassen. Als Beispiel siehe dazu das Energiekostenflußbild (S. 118) eines Porzellanwerkes mit einer Produktionsleistung von etwa 400 T a^{-1} nach *Pilling* und *Nowatzky*. [298, 299]

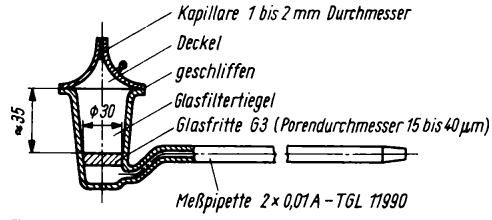
Engobe – *dünner weißer oder gefärbter Masseüberzug, der auf den lederharten oder verglühten keramischen Gegenstand durch Tauchen, Begießen o. a. gleichmäßig aufgebracht wird und in der Schwindung mit dem Grundscherben übereinstimmen muß.* Von der Glasur unterscheidet sich die E. durch ihren masseartigen Charakter. Eine E. soll entweder einen unreinen Scherben oder eine rauhe oder mißfarbene Oberfläche verdecken, dekorativ wirken und die mechanische oder chemische Beständigkeit des keramischen Materials erhöhen, z. B. werden Siliciumcarbidplatten durch Zirkonanstriche gegen Oxydation geschützt. Mit Hilfe der E.-Technik lassen sich auch verschiedene Dekorarten anwenden, z. B. Kratztechnik, Schlickermalerei u. a.

***Enslin*-Wert** – *Maß für die Fähigkeit einer quellbaren Substanz, Wasser bis zu einem dem Sättigungsgrad entsprechenden Wert aufzusaugen.* Es wird des-



Energiekostenflußbild eines Porzellanwerkes
1 Raumheizung (7,96%)
2 Produktionsverbrauch (15,84%)
3 Glattbrand (41,25%)
4 Glühbrand (8,71%)
5 Dekorbrand (4,76%)
6 Palettenschrumpfung (0,01%)
7 motorische Antriebe (11,05%)
8 Rollerheizung (0,42%)
9 Fuhrpark (innerbetrieblich) (0,44%)
10 Eigenverbrauch-Kesselheizung (3,52%)
11 Beleuchtung (2,68%), Be- und Entlüftung (1,53%), soziale Einrichtungen (0,44%)
12 Fuhrpark (außerbetrieblich) (1,39%)

halb zur Charakterisierung von Tonen bzw. Kaolinen in bezug auf ihre Verarbeitbarkeit herangezogen. Zur Bestimmung des E. dient das im



Enslin-Meßpipette

Bild dargestellte Gerät nach *Enslin-Suchant*, das jederzeit gestattet, die von einer bis zur Massekonstanz getrockneten Probe angesaugte Menge aqua dest. abzulesen. Es gilt die Formel:

$$E = V100/p$$

E *Enslin*-Wert
V angesaugtes Volumen (in cm^3)
p Einwaage (in g; reiner Kaolinit weist einen E. von etwa 100 auf).

Enstatit (β-$MgSiO_3$)
Kristallographie: orthorhombisch; stabile Tiefform des Magnesiummetasilicats
Physikalische Eigenschaften: farblos bis gräulichweiß, grünlich; $H = 5$ bis 6; $D = 3{,}18\,g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}651$, 1,650, $n_\beta = 1{,}654$, 1,653, $n_\gamma = 1{,}660$, 1,658, $\Delta n = +0{,}009$, +0,008; $2V = 31°$; Übergang bei ≈1260 °C in Protoenstatit
s. System $MgO-SiO_2$

Entflocker – *s.* Dispergierungsmittel

Entglasen – *Übergang des Glases als energiereiche Phase in den energieärmeren kristallinen Zustand.* Die Kristallisation der Gläser ist jedoch in endlichen Zeiten nur in Temperaturbereichen zu erwarten, in denen die Bausteine eine gewisse Beweglichkeit haben, d.h. oberhalb des Transformationspunktes (etwa bei einer Viskosität von 10^3 Pa s). Die Kristallisation beginnt immer an Phasengrenzen (Oberflächen), innerhalb eines Glases an eingeschlossenen Fremdkörpern u. a. Durch keimfördernde Zusätze und geeignete Wärmebehandlung kann das E. zu einer gezielten Eigenschaftsänderung führen.
s. Glaskeramik.

Entgraten – *Beseitigen von Masseresten (Graten),* die beim Trockenpressen plattenförmiger Formlinge durch einen kleinen Spielraum zwischen Formenrahmen und Oberstempel an den Rändern entstanden sind. Der Vorgang geschieht in der Regel maschinell mit Hilfe von Messern, Schmirgelleinen o. ä.

Enthalpie (*H*; griech.: en = darin, thalpos = Wärme) – *Gibbs*sche Wärmefunktion, *Wärmeinhalt eines Stoffes* (in J bzw. N m oder W s).
Nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik besteht mit der inneren Energie *U* folgender Zusammenhang:

$$H = U + pV$$

pV Volumenarbeit, zusammengesetzt aus Druck und Volumen.

Die E. ist eine Zustandsfunktion, d. h., sie ist nur abhängig vom Anfangs- und Endzustand des Systems und unabhängig vom speziellen Weg der beobachteten Zustandsänderung.
Der erste Differentialquotient der E. – bezogen auf 1 Mol – bei konstantem Druck nach der Temperatur wird als Molwärme c_p bezeichnet:

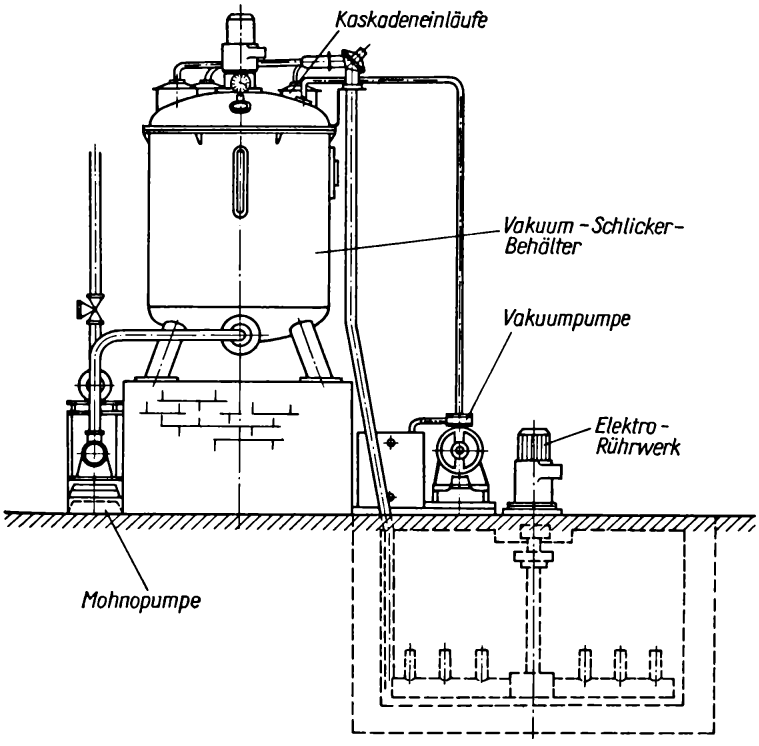
$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = c_p .$$

[67]

Entladung – *in der Hochspannungstechnik der Transport von Ladungsträgern (freie Elektronen und Ionen) durch Aufhebung der Isolierung infolge (örtlich begrenzter) elektrischer Überbeanspruchung des Isolierstoffes.* Man unterscheidet:
- Durchschlag, bei dem die Isolierung ihr Isolationsvermögen vollständig verliert, und
- Überschlag als Sonderfall des Durchschlages, wobei die Durchschlagstrecke vorwiegend an der Grenzfläche verschiedener Isoliermedien verläuft.

[102, 189]

Entlüften – *völliges oder teilweises Entfernen von Lufteinschlüssen aus keramischen Massen.*
Die an Feststoffoberflächen adsorptiv gebundene Luft und die in körnigen Haufwerken immer vorhandenen Poren gelangen bei der Aufbereitung* unvermeidlich in die Massen. Lufteinschlüsse in keramischen Massen sind Fehlstellen im Gefüge, die bereits beim Formling die Festigkeit herabsetzen und beim Brennen die Sinterreaktionen hemmen.
Maßnahmen zum E. sind:
- Bildsame Massen werden in Vakuumstrangpressen* evakuiert, wobei zur besseren Entlüftung und Homogenisierung Drehmassen grundsätzlich zweimal die Vakuumstrangpresse passieren (Vorziehpresse mit größerem, Nachziehpresse mit auf die jeweilige Geometrie des Formlings abgestimmtem Strangdurchmesser).
- Gießmassen werden die eingeschlossenen Luftanteile in sog. Gießmassenentlüftungsanlagen entzogen (s. Bild).
  Der Gießschlicker wird automatisch in die Vakuumbehälter angesaugt, über mehrere Kaskaden geleitet und dabei zu einem dünnen Film zerteilt. Durch das Einwirken von Vakuum (Restluftdruck 5...15 kPa) auf den Film werden vorhandene Luftblasen aufgelöst; eine Mohnopumpe* entnimmt den Schlicker aus dem unter Vakuum stehenden Behälter und drückt ihn direkt in die Gießleitung. Entlüftungseffekte können auch durch speziell geformte Gießhähne und rotierende Gipsformen erzielt werden.
- Trockenpreßmassen werden zwei Preßzyklen unterworfen (Vorpressen mit niederem Druck, Hauptpressen mit hohem Druck); zwischen beiden Preßzyklen liegt ein sog. Entlüftungshub,



Entlüftungsanlage »System Netzsch«

damit die im Preßling bzw. die zwischen Preßling und Form komprimierte Luft wenigstens teilweise entweichen kann.

Schließlich weisen Gipsformen, bei denen der Gipsbrei während der Gipsaufbereitung einer Vakuumbehandlung unterzogen wurde, höhere mechanische Festigkeiten auf. [39]

Entmischung

1) Zerfall einer homogenen Mischung in zwei oder mehrere thermodynamisch stabile Phasen. So können sich die ausschließlich bei hohen Temperaturen möglichen festen Lösungen unter besonderen Abkühlbedingungen und in Abhängigkeit von kristallographischen Gesetzmäßigkeiten in Form unregelmäßiger oder orientierter Ausscheidungen der Gastkomponenten im Wirtsgitter entmischen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Entmischung von Spinell im Periklas, die bei hohen Temperaturen weitgehend mischbar sind.

2) Auftrennen eines körnigen Gutes, das über ein bestimmtes Körnungsband verfügt, in mehrere Körnungsbereiche. Die Ursache kann u. a. in ungleichmäßiger Feuchtigkeitsverteilung und bzw. oder ungleichmäßiger Bewegung liegen, da die innere Reibung bewegter Teilchen geringer ist als die der relativ ruhenden Teilchen.

s. Systeme, binäre mit Mischungslücke, Glas, Mikrophasentrennung

Entropie (S; griech.: endon = innerhalb, tropos = Wendung) – *Zustandsgröße eines Stoffes* (in $J\,K^{-1}$), die durch den 2. Hauptsatz der Thermodynamik in Form ihrer differentiellen Änderung als sog. reduzierte Wärme dQ_{rev}/T für reversible Prozesse definiert ist: $dS = S_2 - S_1 = dQ_{rev}/T$. In einem abgeschlossenen System ist bei Materialaustausch die Änderung der E. gleich der ausgetauschten Wärme, dividiert durch die absolute Temperatur.

Nach *Clausius* stellt die E. ein Maß für den Ordnungszustand in der Weise dar, daß dem Zustand maximaler Unordnung der Zustand größter E. entspricht. Dieser Gleichgewichtsendzustand ist am wahrscheinlichsten. Er wird über verschiedene Ausgleichvorgänge (z. B. Wärmeaustausch zweier Systeme) erreicht. Dabei breitet sich die kinetische Energie gleichmäßig über das gesamte System aus. Alle natürlichen Vorgänge laufen derart ab, daß das betrachtete Gesamtsystem von selbst aus einem Zustand geringer E. (= geringer Wahrscheinlichkeit und damit größerer Ordnung) in einen Zustand größerer E. (= größerer Wahrscheinlichkeit und damit geringerer Ordnung) übergeht, aber nie umgekehrt.

Für reversible Zustandsänderungen ist $dS = 0$, nur für irreversible Zustandsänderungen wird $dS > 0$. In einem geschlossenen System kann sich die E. ändern durch:

- Wärmezufuhr und -abfuhr,
- Entropieerzeugung durch ablaufende irreversible Prozesse im Innern des Systems.

Auf die Zeiteinheit bezogen, kann die Entropieerzeugung nach dem 2. Hauptsatz nur positiv sein, d. h., durch irreversible Prozesse kann nur E. erzeugt, aber nicht vernichtet werden. Die Thermodynamik irreversibler Prozesse beruht auf der Berechnung der E.-erzeugung.

[63, 64, 66, 67]

Entschäumer (Antischaummittel) – *Stoffe, die wegen ihrer äußerst geringen Mischbarkeit mit der schäumenden Flüssigkeit befähigt sind, sich an der Phasengrenzfläche Flüssigkeit/Gas anzureichern und damit die Stabilität der Schaumteilchen herabzusetzen.* E. sind meist ölige, wasserunlösliche Substanzen, die in Konzentrationen von 0,01 bis 0,1 % wirksam werden, z. B. Siliconöle, Fettalkohole, Paraffinöle.

Entstaubung – *Abtrennung (Selektion) fester Teilchen aus dem Trägergas/der Luft.*

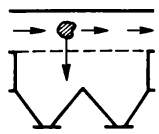
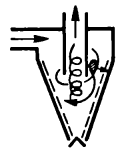
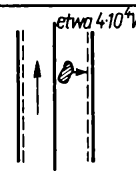
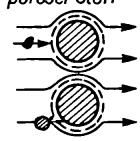
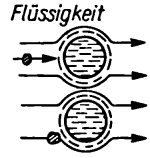
E. stellt eine Zerlegung einer Aerodispersion dar. Die in der keramischen Produktion anfallenden Staubteilchen bewegen sich in der Größenordnung von 10^{-3} bis 10^{3} µm. Da diese Stäube gesundheitsschädigend bzw. belästigend sind, müssen die Betriebe mit einer oder auch mehreren zentralen Entstaubungsanlagen ausgerüstet sein, von denen aus über Rohrleitungen die einzelnen Arbeitsplätze entstaubt werden.

Eine Abscheidung von Staub ist an folgende Bedingungen geknüpft:

- die Staubteilchen müssen in ein Abtrenngebiet gelangen,
- die Energien, die die Dispersion hervorgebracht haben, müssen durch Abscheidungsenergien kompensiert werden,
- die Sammlung und Entfernung des Staubes muß gesichert sein.

Zur E. werden Schwerkraft-, Fliehkraft-, Elektro-, Filtrations- und Waschentstauber eingesetzt (s. Übersichtsbild). [210, 211]

Entwässern – *Entfernen des Wasseranteils aus*

	Schwerkraft-entstauber	Fliehkraft-entstauber	Elektro-entstauber	Filtrations-entstauber	Wasch-entstauber
Schema					
Verschiebungs-kräfte	Schwerkraft	Fliehkräfte	elektrische Kräfte	Trägheits-, thermodynamische Kräfte (Diffusions- und elektrische Kräfte)	Trägheitskräfte (thermodynamische und elektrische Kräfte)
Abtrennungs-ursachen	Schwerkraft im Strömungsraum	Überschreitung der Grenzbeladung insbesondere an der Wand	Haftkräfte	Gitterwirkung, Haftkräfte	Grenzflächen-kräfte
Reinigung des Abtrennungs-raumes	mechanische Transportmittel, manuelle Reinigung	kontinuierlich durch Scher- und Strömungs-kräfte	periodisch durch Abrütteln des Staubes, Flüssigkeits-film	Erneuern des porösen Stoffes, periodisches Abrütteln, Rückspülen	Flüssigkeit im Durch- oder Umlauf

Übersicht Entstaubungsverfahren
– – – – – – Abscheidefläche

Stoffen bei Raumtemperatur im Exsikkator unter Vakuum. E. bei höheren Temperaturen bezeichnet man als *Dehydration**, *Dehydroxylation** und *Calcinieren**. Die Zeitdauer des E. hängt im wesentlichen vom Trennverfahren, den physikalischen Eigenschaften, der Konzentration der Feststoffteilchen sowie der Wirkungsweise des Entwässerungsgerätes ab.

Epitaxie (griech.: epi = darauf, taxis = Ordnung) – *orientierte Verwachsung zwischen Kristallen verschiedener Art.* Sie setzt nach früherer Auffassung eine Affinität der Verwachsungsebenen voraus, d. h., der Gitterbau der beiden Partner muß zweidimensionale Analogien aufweisen. Nach neuerer Anschauung *(Frank, van der Merwe)* kommt E. auch zustande, wenn größere Unterschiede der verwachsenen Netzebenen vorliegen. Bei Aufwachsungen von Stoffen aus der Dampfphase (Aufdampfen im Hochvakuum u. a.) sind als entscheidende Parameter zu nennen: strukturgeometrische Anpassungsfähigkeit der verwachsenen Netzebenen (Symmetrie und Abstand der Gitterbausteine), Bindungszustände im Wirts- und Gastkristall, Aufdampfungsgeschwindigkeit, Kristalltemperatur, Realstruktur der Substrate sowie Bedeckungsgrad der Kristalloberfläche durch adsorbierte Fremdmoleküle.

Ermüdung – *Abfall der technischen Parameter eines keramischen Werkstoffes bei Beanspruchung.*

1) mechanische E.

– Keramische Werkstoffe weisen eindeutig Dauerfestigkeitseffekte auf, d. h., eine statische Belastung kann nach längerer Zeit noch zum Bruch führen. Für quasistatische Belastung (f = 1 bis 10 Hz) lassen sich aus der um eine Zeitfunktion erweiterten statistischen Festigkeitsverteilung (z. B. statistische Festigkeitstheorie*, *Weibull*-Verteilung*) folgende allgemeinen Aussagen treffen (und experimentell belegen):

- Die beim Bruchversuch mit linear gesteigerter Belastung erreichbare Festigkeit ist um so größer, je größer die Belastungsgeschwindigkeit ist.

- Bei verschieden großen aufeinanderfolgenden Belastungen ist die Gesamtsumme der im Verlaufe der Belastung auftretenden Brüche von der Reihenfolge der Laststufen unabhängig.
- Statische Dauerlasten führen zeitlich eher bzw. bei niedrigerer Belastung zum Bruch als quasistatisch schwingende Belastungen.
- Bei quasistatisch schwingenden Belastungen ist der Zeitpunkt des Bruches unabhängig von der Frequenz der Belastung und damit auch unabhängig von der Lastwechselzahl.

Für echt dynamische Belastungen ($f > 10$ Hz) existiert noch keine zulässige Dauerfestigkeitstheorie. Experimentelle Daten lassen vermuten, daß das *Wöhler*konzept – evtl. in Überlagerung mit dem o. a. quasistatischen Konzept – gilt.

– Nach der Betrachtungsweise von *Evans* wird für die E. keramischer Werkstoffe die Rißausbreitungsgeschwindigkeit v im unterkritischen Bereich durch die empirisch gefundene Gleichung $v = A\,K_I^n$ beschrieben. A und n sind werkstoffspezifische Parameter, die experimentell ermittelt werden müssen, K_I ist der sog. Spannungsintensitätsfaktor* der Bruchmechanik*, der sich aus der Spannung σ und der Größe des vorhandenen Anrisses ergibt und der sich im Verlaufe des Rißwachstums bis zum kritischen Spannungsintensitätsfaktor K_{Ic} vergrößert, was mit dem Bruch des Prüflings gleichgesetzt wird. Werden an einem Werkstoff die Parameter A und n gemessen und sind für ein betrachtetes Erzeugnis die Größe des gefährlichsten Risses und die Spannung σ an dieser Stelle bekannt, so ergibt sich daraus die Möglichkeit zur Berechnung der Lebensdauer.*

Die beiden skizzierten Konzeptionen zur Erfassung der Ermüdung bzw. des Dauerfestigkeitseffektes unterscheiden sich in Ausgangspunkt und Betrachtungsweise; in ihren inhaltlichen Aussagen sind sie jedoch weitgehend miteinander vereinbar.

2) thermische E.

Diese wird insbesondere bei Verbundwerkstoffen beobachtet; sie äußert sich im Nachlassen der Haftung und Festigkeit im Verlauf der Wärmeeinwirkung. Die Gründe liegen u. a. in Diffusions- bzw. Entmischungserscheinungen, die zur Veränderung der Grundstruktur der Stoffe führen.

[91, 94, 124, 297]

Erweichungstemperatur – *Temperatur, bei der feste Stoffe beginnen zusammenzusinken.* Bei kristallinen Stoffen tritt die Umwandlung in den flüssigen Aggregatzustand an einem genau definierten Temperaturpunkt, dem Schmelzpunkt, ein. Der Übergang in den neuen Aggregatzustand ist mit einem völligen Zusammenbruch des Gitters verbunden. Amorphe Stoffe, Gläser, mehrphasige Stoffe, wie Porzellan, Schamotte u. a., erweichen in einem mehr oder weniger breiten Temperaturintervall.

s. Schmelzen

Ethylsilicat (Tetraethoxysilan, $Si(OC_2H_5)_4$ bzw. abgekürzt $Si(OR)_4$) – *Zusatz als Binder für unbildsame Massen in Mengen von 1 bis 5 %.* E. verleiht dem Formling eine für den Transport notwendige Festigkeit, die im Brand in eine dauerhafte Bindung umgewandelt wird.

Eukryptit (β-$LiAl[SiO_4]$)

Kristallographie: hexagonal-trapezoedrisch (Überstruktur zum Hochquarz)

Physikalische Eigenschaften: $D = 2{,}63$ bis $2{,}67\ g\,cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}572$, $n_\varepsilon = 1{,}587$, $\Delta n = +0{,}015$; Übergang der β-Form bei $\approx 970\,°C$ irreversibel in die Hochform α-$LiAl[SiO_4]$; sehr kleine thermische Ausdehnungskoeffizienten, auch negativ.

E. bildet sich in Erzeugnissen auf der Basis von Vitrokeram*, beim Chemcorprozeß* u. a.

Europiumoxid (Eu_2O_3) – *blaßrotes Pulver, das durch Glühen von thermisch-zersetzbaren Eu-Verbindungen (z. B. Europiumoxalat $Eu_2\,(C_2O_4)_3$) entsteht.*

Kristallographie: kubisch, bei 1 075 °C Übergang in monokline Modifikation; Rückbildung bei Abkühlung stark von äußeren Parametern (z. B. Sauerstoffpartialdruck) abhängig; Stabilisierung der kubischen Form durch geeignete technische Maßnahmen (u. a. Drucksintern bei 60 MPa) möglich

Physikalische Eigenschaften: $D = 7{,}42\ g\,cm^{-3}$; $T_S = 2\,300\,°C$

Verwendung: Als neutronenabsorbierender Werkstoff in schnellen Reaktoren; zum einen besitzt E. selbst einen hohen Absorptionsquerschnitt, und zum anderen entsteht beim Einfangen von Neutronen eine Kette von Tochterisotopen mit ebenfalls höherem Absorptionsquerschnitt. Außerdem entstehen bei der Reaktion mit Neutronen keine gasförmigen Reaktionsprodukte (im Gegensatz zum B_4C).

[133]

Eutektikum (griech.: eu = gut, tektos = flüssig) – *charakteristische Zusammensetzung innerhalb eines Zwei- oder Mehrkomponentensystems,* das beim Abkühlen aus einer homogenen Schmelze bei niedrigerer Temperatur (eutektischer Temperatur) zu zwei oder mehr Kristallarten erstarrt.

Explosivpressen (Explosionsformung) – *Formgebungsverfahren, das die Stoßwelle einer Explosion zum Verdichten ausnutzt.* Die Stoßwelle wirkt dabei unmittelbar oder über eine gasförmige oder flüssige Zwischenschicht auf die Matrize. Da der Druckanstieg außerordentlich rasch erfolgt, die Drücke Werte bis zu $3 \cdot 10^{10}\,\mathrm{N\,m^{-2}}$ annehmen können, zeigen alle Stoffe plastisches Verhalten, d. h., die Verformung erfolgt ohne Rückfederung. E. wird besonders in der Pulvermetallurgie angewandt.

Extinktion (lat.: ex = heraus, tingere = färben) – *allgemeine Bezeichnung für die Schwächung einer Strahlung beim Durchgang durch ein Medium infolge Absorption*, Streuung und Beugung.*
Nach dem *Bouguer-Lambert*schen Gesetz gilt

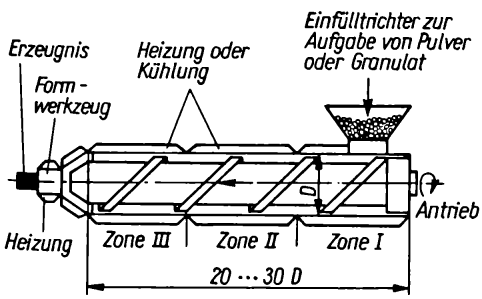
$$I = I_0\,\mathrm{e}^{-a\,d}$$

I_0 anfängliche Strahlungsintensität
I Strahlungsintensität nach dem Durchlaufen einer Strecke d
a Extinktionskoeffizient.

[117, 171]

extrinsisch (lat.: extrinsecus = von außen herbeigeführt) – *in der Halbleitertechnik gebräuchliche Bezeichnung für eine durch Dotierungen herbeigeführte Leitfähigkeit (Störleitung).*

Extrudieren (lat.: trudere = verdrängen) – *Prozeß, bei dem eine künstlich bildsam gemachte Masse durch kontinuierliches Pressen auf eine geforderte Querschnittsform gebracht wird.* Als Formwerkzeug sind Mundstücke der unterschiedlichsten Geometrie einsetzbar (s. Bild).



Schema eines Extruders

E. wird insbesondere in der Elektrokeramik* zum Formen von Natur aus unbildsamer Massen (z. B. α-Al_2O_3), denen organische Hilfsmittel (z. B. Wachse, Paraffine u. a.) zugesetzt werden, angewendet. Vorteile sind eine breite Formenpalette (Strang- und Flachformartikel), große Durchsatzleistungen und hohe Oberflächengüte der Artikel. Zur Durchführung des E. werden Ein- und Mehrschneckenextruder eingesetzt. Neben der eigentlichen Formgebung lösen Extruder – je nach Bauart – noch folgende Aufgaben:

- Aufschmelzen der organischen Hilfsmittel zur Herbeiführung der Bildsamkeit durch Beheizung von außen und durch die sich entwickelnde Reibungswärme im Inneren (Wärmedissipation).
- Mischen der zu verarbeitenden Stoffe einschließlich des Ausgleichs von Temperaturunterschieden.

[296]

F

Fahne – äußerer, meist schwach geneigter Ring eines Flachgeschirrs, z. B. eines Tellers.

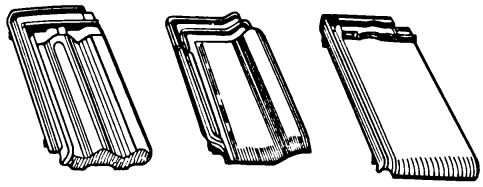
Falschluft – *unerwünschter Lufteintritt in eine Ofenanlage, wodurch der Wirkungsgrad verringert, das Abgasgebläse belastet wird.* Falschlufteinbrüche können eintreten am Ofentor, in der Sandrinne (ungenügende Füllung), an den Wagenstößen, an defekten Abgasumwälzungen in der Vorwärmzone, im Labyrinth an der Ofeneinfahrt, bei zu hohem Unterdruck im Ofen u. a. [234, 236]

Falz – eingelassener Rand (Deckelhalterung für das Auflegen des Deckels bei Hohlgeschirr).

Falzziegel – *Dachziegel mit rippenähnlichen Vertiefungen bzw. Erhöhungen, die in Verbindung mit den Gegenrippen eine dichte, dauerhafte Überdachung bilden, geeignet für Dachneigungen von 15 bis 60°* (s. Bild S. 124). Man unterscheidet Seiten- und Kopfverfalzung. Jede dieser Verfalzungen enthält einen Wasserfalz auf der Oberseite des Ziegels und einen Deckfalz auf der Unterseite. Ziegel mit gewellter Oberfläche haben eine andere Verfalzung

Falzziegel (Muldenziegel), Querschnitt

Hohlfalzziegel, Querschnitt



Arten von Falzziegeln

als z. B. pfannenartige oder solche mit glatter Sichtfläche. Der wichtigste Teil der Verfalzung ist die Stelle, an der vier Ziegel zusammenstoßen. Hauptformen der F. sind neben dem eigentlichen F. die *Falzpfanne* und der *verfalzte Flachziegel (Falzplatte)*.

Famille noire – *eine der wertvollsten chinesischen Glasuren.* Die Bezeichnung entstand durch den dunklen (grünschwarzen) Untergrund, auf den die Ornamente und Gestaltungselemente gemalt wurden. Anwendung vorwiegend in der Kangxi-Epoche (1662–1722).

Farbe – *Qualität von Lichtempfindungen des Auges, die durch eine elektromagnetische Strahlung des sichtbaren Wellenlängenbereiches von etwa 380 bis 780 nm ausgelöst und von physiologischen und psychologischen Faktoren beeinflußt wird.*

Ein Gegenstand wird sichtbar, wenn Licht, das auf ihn trifft, zum Auge zurückgestrahlt wird. Wird bei diesem Vorgang das Licht irgendwie zerlegt, so erscheint der Gegenstand farbig. Die wichtigsten Möglichkeiten zur Zerlegung des (weißen) Lichtes sind Absorption (besonders bei keramischen Farbkörpern*), Streuung und Beugung, selektive Reflexion, Interferenz, Dispersion.

Man unterscheidet:

- bunte Farben, die einen bestimmten Farbton, Sättigung und Helligkeit aufweisen,
  unbunte Farben, die sich allein durch verschiedene Helligkeit unterscheiden (schwarz – grau – weiß);
- Farbton – Eigenschaft des Buntseins: blau – rot – gelb, (in der Farbvalenzmetrik wird der Farbton durch die farbgleiche Wellenlänge λ_f beschrieben),
- Sättigung – Eigenschaft, die eine kräftige Buntfärbung von einer blassen, weißlichen F. gleichen Farbtons und gleicher Helligkeit unterscheidet,
- Helligkeit – Stärke der Lichtempfindung (das Maß der Helligkeit einer F. ist der Hellbezugswert, d. h. das Leuchtdichteverhältnis der Farbe des Gegenstandes zum vollkommenen Weiß), so läßt sich z. B. folgende Ordnung vornehmen: weiß – rosa – rot, weiß – grau – schwarz, rot – rotbraun – schwarz,
- Farbkontraste – ein Farbton ist nur im Verhältnis zu einem dunklen Farbton hell und umgekehrt. Steigert sich der Unterschied zum Maximum, so spricht man von polaren Farbkontrasten, z. B. blau – orange, gelb – violett, rot – grün, schwarz – weiß. Nach *Itten* lassen sich von der künstlerisch-ästhetischen Wirkung der F. folgende Kontraste unterscheiden:
  - Farbe-an-sich-Kontrast,
  - Hell-Dunkel-Kontrast,
  - Kalt-Warm-Kontrast,
  - Komplementär-Kontrast,
  - Simultan-Kontrast,
  - Qualitätskontrast,
  - Quantitätskontrast.

[171, 225, 246, 254]

s. Weißgrad

Farben, keramische – *Mineralfarben für die feuerbeständige Färbung von Glasuren* und Scherben* sowie Emails**.

K. F. haben einmal die Aufgabe, in Wahrung der Einheit Form – Dekor – Farbklang die keramischen Erzeugnisse ansehnlicher und gefälliger zu machen, andererseits müssen sie im Brande stabil und im nachfolgenden Gebrauch resistent gegenüber korrosiven Medien sein. Die keramische Farbgebung ist möglich durch Metallionen, Pigmente* und metallische Kolloide*; für die Ausführung stehen grundsätzlich die folgenden fünf Wege zur Auswahl, wobei die spätere Verwendung des Erzeugnisses und ästhetische Gesichtspunkte entscheiden:

- Lösen von solchen Elementen im Glasfluß, deren Ionen eine Eigenfarbe besitzen; das sind insbesondere Mn, Co, Ni, Fe, Cr, Cu. Da für die Farbwirkung der Aufbau der Elektronenschalen entscheidend ist, zeigen Elemente, die mehrere

Wertigkeitsstufen bilden können, auch verschiedene Farben, z. B. färbt Fe^{2+} grün (im Glas blau), Fe^{3+} gelbbraun.
- Verwendung von Pigmenten, deren Hauptbestandteile die typischen Übergangselemente sind; die wichtigsten Vertreter sind Farbkörper* auf Spinellbasis*.
- Einsatz von Pigmenten, deren primär ungefärbtes Gitter durch Dotierung verändert wurde (Wirtsgitterfarbkörper*), z.B. Rutil- und Zirkonfarbkörper,
- Verwendung von Einschlußpigmenten*, z. B. Cadmiumrotpigment,
- Einfärbung durch kolloidale Metalle, z.B. Gold und Kupfer in reduzierendem Brand.

Die Farbwirkung der verschiedenen Zusätze in Scherben und Glasur wird wesentlich beeinflußt von der Natur der färbenden Stoffe, der zugesetzten Menge, von der Zusammensetzung der Glasur/Glasphase* und dem Brennregime.

Die folgende Übersicht umfaßt die wichtigsten in der Keramik eingesetzten k.F. (nach *P. Eisbein*):

1) Blaufarbkörper
- Basis Co-(Zn, Al, Si)
  Cobalt (evtl. + Zink) in Verbindung mit Aluminium ergibt einen Spinellfarbkörper, wogegen die Kombination Co-Si zu einer ionaren Färbung der Glasur führt.
- Basis Zr-Si-V
  Farbkörper mit Zirconiumsilicatgitter, in das geringe Mengen Vanadium eingebaut wurden.

2) Grünfarbkörper (z.T. blaugrün)
- Basis Cr-Co-(Al, Zn, Mg)
  Diese Farbkörper weisen Spinellstruktur auf.
- Basis Ca-Si-Cr
  Ein Viktoriagrün mit Granatstruktur (Uwarowit); vielfach werden grüne Farben durch eine Kombination von Blau- und Gelbfarbkörpern eingestellt.

3) Gelbfarbkörper
- Basis Sn-V
  Vanadium ist adsorptiv an Zinnoxid gebunden. Durch Zugabe von geringen Mengen Titandioxid wird eine Verschiebung in die Orange-Richtung erreicht.
- Basis Zr-V
  Es handelt sich ebenfalls um einen Adsorptiv-Farbkörper. Dabei ist interessant, daß wahrscheinlich das Vanadium die monokline Struktur des Zirconiumdioxids stabilisiert. Durch Zugabe von Yttrium oder Indium werden orange bis braune Farbtöne erzielt.
- Basis Zr-Si-Pr
  Im Zirconiumsilicatgitter ist Praseodym in geringen Mengen eingebaut.
- Basis Ti-Sb-Ni
  Es handelt sich um einen typischen Rutilfarbkörper.
- Basis Pb-Sb
  Bei diesem Neapelgelb genannten Farbkörper wird Pyrochlorstruktur (kub.) angenommen. Durch Zusatz von Eisen wird die Farbe orangegelb.

4) Schwarzfarbkörper
- Basis Co-(Fe, Mn, Ni-Cr)
  Bei diesen Farbkörpern wird Spinellstruktur angestrebt.
- Basis Cr-Cu

5) Graufarbkörper
- Basis Sn-Sb
  Auch dieser Typ rechnet zu den Adsorptiv-Farbkörpern, wobei Sb an SnO_2 gebunden ist. Es sind blaugraue bis neutralgraue Farbtöne zu erzielen.
- Basis Co-(Sn, Fe, Cr, Mn, Ni)
  Diese Typen können als verdünnte Schwarzfarbkörper angesprochen werden. Das gilt ebenso für die Gruppe:
- Basis Zr-(Co, Fe, Ni, Cr)

6) Braunfarbkörper
- Basis Cr-Fe-Zn
  Diese Farbkörper, wie die des folgenden Typs, entwickeln Spinellstruktur.
- Basis Ni-Fe
- Basis Ti-Sb-Cr-(Ni, W)
  Sie weisen Rutilstruktur auf.

7) Rosafarbkörper
- Basis Al-Zn-Cr
- Basis Zr-Si-Fe
  Diese Farbkörper haben Zirconiumsilicatstruktur, wobei jedoch nur ein Teil des Fe im Gitter gebunden ist.
- Basis Al-Mn

8) Pinkfarbkörper
Basis Sn-Ca-Si-Cr
Der strukturelle Aufbau dieser Farbkörper ist noch nicht ganz geklärt. Das Chrom wird in 6wertiger Form und wahrscheinlich adsorptiv gebunden.

9) Violettfarbkörper
Basis Sn-Cr
Der Chromgehalt dieser Farbkörper ist sehr niedrig. Chrom ist in 6wertiger Stufe adsorptiv an Zinnoxid gebunden.
[225, 308, 317, 335 bis 337]

Farben, keramische malfertige – *Aufglasurfarben*, die feinstgemahlen, mit Fluß*- und Malmitteln* dem Verbraucher in einem sofort gebrauchsfähigen Zustand zur Verfügung stehen.* Je nach Arbeitsbedingungen kann vor der Anwendung noch Spritzlack* zugesetzt werden; zweckmäßig ist eine 24stündige Temperierung im Arbeitsraum vor der Verarbeitung. [158, 254]

Farbenreiber – *pilzförmiges Arbeitsmittel des Porzellanmalers mit breitem, flachgeschliffenem Kopf* (in der Regel aus Glas), mit dessen Hilfe die Farbpigmente auf einer Glasplatte gemischt und mit den Bindemitteln (z. B. Leinölfirnis, Terpentin) zusammengerieben werden, um eine feinkörnige Mal- oder Druckfarbe zu gewinnen.

Farbenreihe – *eindimensionales System zur Ordnung der Farben, wobei alle Farben einer Reihe untereinander verwandt sind und eine in sich geschlossene Farbfamilie bilden.* Man erhält so Farbabstufungen, die sich nach der Farbrichtung bzw. dem Farbton (Gelb-Gelbgrün-Grün usw.), nach der Helligkeit (z.B. Weiß-Grau-Schwarz) oder nach der Reinheit (z.B. Grün-Grau-Rot) unterscheiden. Je mehr differenziert wird, d.h., je mehr Farbstufen sich ergeben, um so länger und genauer wird die F. Bekannt sind u. a. Farbenkreis und -leiter nach *Ostwald*, Farbenkegel, Farbenkarte (TGL 21 579/1), (s. Bild).

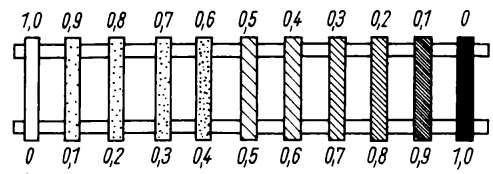
Farbglasuren – *durch Metalloxide, Farbfritten oder Pigmente*/Farbkörper* gefärbte Glasuren*.*
Die optische Wirkung von F. wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, so daß zu ihrer Entwicklung zahlreiche (empirische) Versuche erforderlich sind. Im einzelnen haben Einfluß:

- Die Natur der färbenden Stoffe, d. h. ihre chemische Zusammensetzung, die gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Komponenten in einem Gemisch, ihre Feinheit, Konzentration und Verteilung in der Grundglasur. So färbt z.B. Cr_2O_3 bei Anwesenheit von ZnO, MgO und nur geringem Gehalt an PbO grün, dagegen bei Anwesenheit von SnO_2, CaO pink und bei hohem Anteil an PbO gelb. Soweit Farbfritten verwendet werden, empfiehlt es sich, eine konzentrierte Farbfritte herzustellen und diese mit einer farblosen Glasur innig zu mischen. Farbkörper sollten nicht zu fein vermahlen sein, damit sie nicht durch die lösende Wirkung der Grundglasur an Intensität verlieren.
- Die Zusammensetzung der Grundglasur, d. h. die Flußmittelkomponenten und davon abhängig der Charakter der Glasur (s. Säurezahl*). So bringen gleiche Farboxide/Farbkörper bei unterschiedlicher Glasur verschiedene Farbtönungen hervor, z. B.

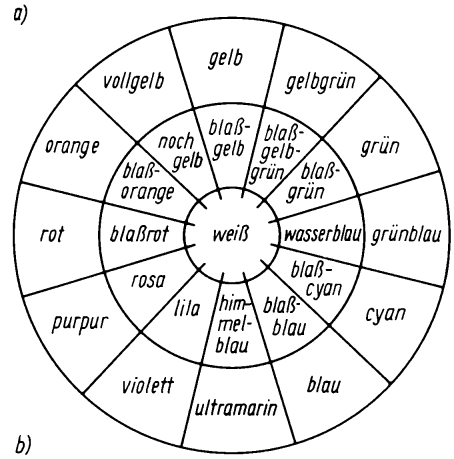
$1PbO \cdot 0{,}2\,Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ + 1 bis 2 % CuO smaragdgrüne F.

$0{,}1\,Li_2O$		$1{,}8\,SiO_2$
$0{,}3\,Na_2O$	$0{,}1\,Al_2O_3$	$0{,}3\,B_2O_3$ + 1 bis
$0{,}3\,K_2O$		2 % CuO türkisfarbene F.
$0{,}3\,CaO$		

- Die Brennatmosphäre hat auf die Farbtönung ebenfalls wesentlichen Einfluß; so lassen sich z. B. violette Farben in oxydierender Atmosphäre mit Pyrolusit (MnO_2) und NiO, dagegen in reduzierender Atmosphäre mit Rutil erzeugen.



a)



b)

a) Farbenleiter nach *Ostwald*; für Weiß über Grau nach Schwarz
b) Farbenkreis nach *Ostwald* (äußerer Ring – reine Farben; Mittelreihe – trübe Farben)

- Die Temperaturhöhe, wobei allgemein gilt, daß die Farbpalette nach höheren Temperaturen hin eingeschränkt wird.

[254]

s. Braunglasuren

Farbkörper, keramische – *anorganische Pigmente*, die als färbende Bestandteile in der Keramik vielfältig eingesetzt werden und sich allg. durch hohe Stabilität bzw. hohe Korrosionsfestigkeit gegenüber dem lösenden Angriff von Silicatschmelzen auszeichnen.* Ihrer Struktur nach stellen sie feindisperse Mischkristalle isotyper Verbindungen bzw. Mischkristalle von Oxiden dar.

Um widerstandsfähige F. zu erhalten, wird bei der Herstellung die Struktur des Spinells* mit dem Mischungsverhältnis $RO \cdot R_2O_3$ angestrebt. Als Ausgangsstoffe dienen solche färbenden Oxide wie CoO, FeO, MnO, CuO, NiO, V_2O_5, aber auch Cr_2O_3, Fe_2O_3, die teils miteinander, teils mit farblosen Oxiden wie Al_2O_3, SiO_2, ZrO_2 u. a. im entsprechenden Verhältnis gemischt, trocken/naß gemahlen, bei Temperaturen von 900 bis 1400 °C geglüht, feinst gemahlen und gewaschen werden.

Innerhalb der Spinellreihen sind Chromate (z. B. $MnO \cdot Cr_2O_3$) die beständigsten, weniger beständig sind Aluminate (z. B. $MnO \cdot Al_2O_3$) und am wenigsten beständig sind Ferrite (z. B. $MnO \cdot Fe_2O_3$).

Beim Einsatz von F. gelten folgende allg. Regeln:

- Die Farbkraft der F. ist um so größer, je mehr sich ihre Teilchengröße der idealen Pigmentgröße (<1 µm) nähert, damit verbunden ist jedoch eine Vergrößerung der spezifischen Oberfläche, was ein Auflösen der F. im Glasfluß erleichtert. Es müssen daher Kompromisse gefunden werden.
- In einem gewissen Grade kann dem Auflösen der F. in Schmelzen durch Übergang zum Schnellbrandverfahren begegnet werden.
- F. mit hoher Dichte neigen in Glasursuspensionen zum Sedimentieren, besonders in leichten, bleifreien Glasuren; durch Zugabe von Peptisationsmitteln kann diesem Vorgang entgegengewirkt werden.

F. werden verwendet für:

- Unter-, In- und Aufglasurfarben*,
- zum Einfärben von keramischen Massen und Engoben*,
- Scharffeuerglasurfarben (z. B. Braunglasuren*),
- Fayence- oder Majolikafarben als Abart der Unterglasurfarbe, die vor dem Glasurbrand in die getrocknete Glasurschicht hineingemalt und mit dieser zusammen eingebrannt werden.

Zu den F. zählen noch Trübungsmittel*; Weiterentwicklungen von F. sind Einschlußpigmente* und Wirtsgitterfarbkörper*. [246, 254, 307, 308]

Farblösungen – *wäßrige Lösungen von Metallsalzen (leichtlösliche Chloride und Nitrate der Schwermetalle) für Unterglasurflächendekore.*

Das Aufbringen der F. auf den verglühten, porösen Scherben geschieht mit Pinsel oder durch Spritzen; um ein Ablaufen zu verhindern, wird den F. zweckmäßig noch eine Lösung, bestehend aus Sirup, Glycerin und Alkohol, zugesetzt. Beim Brennen gehen sie in die betreffenden färbenden Metalloxide über und bilden schließlich farbige Silicate und Aluminate. Zwischenfarben sind möglich; durch entsprechende Verdünnung kann man auch zarte Farbtöne erhalten.

s. Lösungsfarben

Farbspektrum der Kristalle – *wichtiges Charakteristikum für die Kristalldiagnose.* Man unterscheidet:

1) Farbe im durchfallenden Licht (Absorptionsfarben)

Ein lichtdurchlässiger Kristall erscheint farblos, wenn sämtliche Wellenlängen des natürlichen Lichts durchgelassen werden; er erscheint farbig, wenn Teile des Spektrums absorbiert werden; hierbei kennt man eigenfarbige Kristalle oder idiochromatische und durch Pigmente gefärbte oder allochromatische.

2) Farben im auffallenden Licht (Reflexionsfarben)

Es sind komplizierte Mischfarben, die von der Wellenlänge des Lichts abhängig sind.

3) Anlauffarben

Es sind dünne Zersetzungshäutchen oder Oxydationsfilme.

s. Pleochroismus.

Farbtönung – *physikalische Größe, die über Messungen des Reflexionsgrades bei verschiedenen Wellenlängen für annähernd weiße, glasierte Oberflächen eine Kennzeichnung des Farbtones der Oberfläche und eine Beurteilung der Güte von Porzellanglattbränden erlaubt.*

Zur Beurteilung der Weiße, d. h. der Helligkeit des Farbtones, wird von der zu untersuchenden Oberfläche mit Hilfe eines Leukometers* der Refle-

xionsgrad $\varrho(0/d)$ gemessen, d. h. das Verhältnis des diffus zurückgestrahlten Lichtstromes zu dem unter dem Beleuchtungswinkel 0° auffallenden Lichtstrom.

Nach *Teuchert* ist es zweckmäßig, bei der Messung folgendermaßen vorzugehen:

- Messung des Weißgrades B bei Einschaltung eines Blaufilters mit der wirksamen Schwerpunktwellenlänge (460 ± 5) nm,
- Messung des Weißgrades R bei Einschaltung eines Rotfilters mit der wirksamen Schwerpunktwellenlänge (615 ± 5) nm,
- Berechnung der Weiße nach der *Stephansen*-Beziehung $W_{\text{Steph}} = 2B - R$,
- Berechnung des Verhältniswertes R/B.

Für Porzellan gilt:

$R/B > 1{,}05$	gelblicher Farbton infolge unzureichender Reduktion
$R/B < 0{,}99$	grauer Farbton infolge Schwachbrand oder Verräucherung
$R/B = 1{,}05$ bis $0{,}99$	weiße bis blauweiße Farbtöne gutgebrannten Porzellans.

[304]

Fasern – *schmiegsame, langgestreckte feste Körper, sog. Fäden, bei denen das Verhältnis Länge zu Durchmesser in der Größenordnung 10^3 bis 10^6 liegt und die Querschnittsfläche $< 0{,}05\ mm^2$ ist.*

Der Begriff F. wird einschränkend angewendet, wenn es sich um nicht verspinnbare Fäden handelt; bei unendlicher Länge und Verspinnbarkeit ist die Bezeichnung Seide üblich. Der Ausdruck Wolle beschreibt ein Faserhaufwerk (z. B. Schlakkenwolle, Glaswolle u. a.). Nach ihrer Struktur lassen sich folgende Gruppen von faserförmigen Stoffen unterscheiden:

- Whisker – feinste haar- oder nadelförmige Einkristalle mit einem Durchmesser von 1 bis 20 µm und Längen bis zu einigen cm,
- polykristalline F.,
- glasige F.

Unter chemisch/keramischen Aspekten können F. (nach *Petzold*) eingeteilt werden in:

- natürliche mineralische F. (Asbest*),
- künstliche F.,
- Element-F.* (Graphit, Bor),
- Hartstoff-F.* (SiC, BN u. a.),
- oxidische F. (Al_2O_3, ZrO_2, BeO u. a.),
- keramische F.* (Alumosilicatfasern).

F. sind im Vergleich zu den entsprechenden kompakten Werkstoffen durch ihre Biegsamkeit und außerordentlich hohe spezifische Festigkeit ausgezeichnet.

Mit abnehmendem Durchmesser steigt die Festigkeit sehr stark an, die Gründe dafür liegen in der Minderung der strukturellen Fehlordnungen* und Mikrorisse/Kerben, wobei ein deutlicher Unterschied bei den physikalisch-mechanischen Eigenschaften zwischen Whiskern und F. zu erkennen ist (s. Tabelle).

Gegenüberstellung physikalisch-mechanischer Kenngrößen anorganischer, nichtmetallischer Whisker und Fasern

Eigenschaft	Whisker	Fasern
Durchmesser in µm	0,5...20	1...50
E-Modul in 10^3 MPa	300...1 000	100...5 000
Zugfestigkeit in MPa	7 000...20 000	1 000...10 000

Die große Oberfläche von F. im Verhältnis zum Volumen bedingt andererseits eine leichte chemische Angreifbarkeit. Weiterhin ist bei Angaben von Eigenschaften zwischen Einzelfasern und Faserhaufwerken zu unterscheiden. Besonders die Angaben von Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten und Schallschluckgraden beziehen sich stets auf konfektionierte Fasermaterialien, niemals auf Einzelfasern. [144]

s. faserverstärkte Werkstoffe

Fasern, keramische, feuerfeste – *Fasern*, die lose oder konfektioniert als Wärmedämmstoffe* eingesetzt werden.*

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Herstellungstechnologie, ihrer Struktur und ihrem Hochtemperaturverhalten sind bei f. k. F. folgende zwei Gruppen zu unterscheiden:

1) Fasern mit mittleren Al_2O_3-Gehalten von 40 bis 55 Masse-% und Klassifikationstemperaturen von 1 250 bis 1 400 °C

Die Rohstoffmischung Kaolin, Schamotte, Sand, Tonerde und Zusätze von Cr_2O_3 werden im Lichtbogenofen bei ≈2 000 °C geschmolzen. Der austretende Schmelzstrahl wird durch Schleudern oder Zerblasen abgekühlt, dabei erstarrt die Schmelze glasig zu Fasern in Längen von 5 bis 25 cm und Dicken von 0,5 bis 7 µm. Bei Temperaturbeanspruchung tritt ab 1 000 °C ein merkliches Nachschwinden ein, ausgelöst durch Rekristallisationen* zu Mullit* und Cristobalit*. Mit der zunehmenden Kristallinität erhöht sich die Faserdichte und mindern sich die elastischen Eigen-

schaften, d.h., die Fasern verspröden. Die Anwendungstemperaturen dieser Gruppe werden von den Ofenatmosphären stark beeinflußt; so führen reduzierende und korrosive Atmosphären zu einer Herabsetzung der Anwendungstemperatur.

2) Fasern mit Al_2O_3-Gehalten von 60 bis 75 Masse-% und Klassifikationstemperaturen von 1500 bis 1600 °C

Diese Fasertypen werden aus wäßrigen Aluminiumsalzlösungen gewonnen, die mit hochmolekularen organischen Spinnhilfsmitteln versetzt sind. Durch Wasserentzug bildet sich ein Gel*, aus dem die Fasern durch Blas- und Ziehverfahren geformt werden. In mehrstufigen thermischen Behandlungen brennen die organischen Bestandteile aus, die instabilen Tonerdeformen werden bis 1350 °C in die stabile α-Form überführt. Die erhaltenen Fasern weisen Durchmesser von 1 bis 8 µm und Längen von 1 bis 10 cm auf.

Die losen Rohfasern liefern den Ausgangsrohstoff für die verschiedensten Anwendungen; als Faserwolle werden sie zur Füll- und Stopfisolierung für Dehnfugen, Dichtungen u.a. eingesetzt. Als einfache Fasermatte sowie als geschichtete Fasermatte (sog. Fasermodule) dienen sie als Ofenauskleidungen für Hauben-, Tunnel- und Herdwagenöfen. Zusammen mit organischen und/oder anorganischen Bindern werden Faserplatten und -formteile gefertigt; und schließlich werden flexible f. k. F. mit Bindern hoher Reißfestigkeit zu Faserpapieren verarbeitet, die als Asbestersatz dienen.

Die Rohdichte der f. k. F. bewegt sich zwischen 0,20 bis 0,35 g cm^{-3}, die Wärmeleitfähigkeit 20/1000 °C zwischen 0,9 bis 0,26 W(m K)$^{-1}$.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Faserwerkstoffe wie kein anderer Wärmedämmstoff geeignet sind, sowohl große Flächen als auch kleinste Räume unter beengten Platzverhältnissen effektiv zu dämmen. Zwangsläufig ist der Einsatz in periodisch arbeitenden Ofenanlagen ökonomischer als in kontinuierlich beschickten Anlagen. Allgemein sollte die Anwendungstemperatur f. k. F. etwa 100 bis 150 K unter der Klassifikationstemperatur liegen. (F. k. F. sind in TGL 36000 standardisiert.) [133, 144, 168, 315, 316, 318, 319, 346, 347]

Fayalit (Eisenolivin, $Fe_2[SiO_4]$)

Kristallographie: orthorhombisch; pleochroitisch; mit Forsterit Bildung von kontinuierlichen Mischreihen *(Olivine)*

Physikalische Eigenschaften: dunkelgelb bis gräulich-schwarz; $H = 6$ bis 6,5; $D = 4{,}35$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}835$, $n_\beta = 1{,}877$, $n_\gamma = 1{,}886$, $\Delta n = -0{,}051$; $T_S = 1205$ °C

F. bildet sich beim Brand keramischer Produkte, wenn SiO_2 und Fe^{2+} bzw. Fe^{3+} mit vorhanden sind, und verursacht bei größeren Anteilen schwarze Ausschmelzungen. F. ist Bestandteil von Schlacken.

Fayence (nach der ital. Stadt Faenza bei Ravenna) – *keramisches Erzeugnis mit farbigem, porösem Scherben (eisen- und stark kalkhaltige Tone) und meist deckender Zinnglasur, oft auch mit reliefartiger Oberfläche.* Anfänglich wurde die F. mit feiner, weißer Engobe versehen, bemalt, auch mit Ritzdekoren, anschließend kam eine farbige Bleiglasur darüber. Der Scherben selbst war von gelblichgrauer oder rötlicher bis brauner Farbe. Die Glasur sorgte für Undurchlässigkeit. Im 15. Jh. kam die opake weiße oder farbige Zinnglasur auf. Das Erzeugnis wird in der Regel zweimal gebrannt, nach dem ersten Brand (900 bis 1000 °C) wird glasiert, danach wird auf die getrocknete Glasur mit Scharffeuerfarben gemalt. Die Malerei hat nach dem zweiten Brand (950 bis 1050 °C) verhältnismäßig weiche Konturen. Nach der Bemalung kann aber auch eine zweite Glasur aufgebracht werden. (*s.* Copertaglasur). Farbenreichere Dekore sind durch Aufglasurfarben möglich, dann ist aber noch ein dritter Brand (Dekorbrand) notwendig. Die deckende Zinnglasur kann auch mit färbenden Metalloxiden versetzt werden. Druck und Lüster werden ebenfalls angewendet. Die ältesten F. mit den typischen Merkmalen dieser Keramik finden sich bereits in der ägyptischen und kretischen Kultur. In Europa entstand bereits im 14. Jh. in Faenza ein ausgeprägtes Herstellungszentrum und zugleich Mittelpunkt eines regen Handels und Exports. Einen ersten künstlerischen Höhepunkt erreichte die Fayence-Herstellung im maurischen Spanien des 15. Jh. Durch Übersiedlung italienischer Handwerker nach Frankreich erlangte die F. in Lyon, Rouen und anderen Ortes Heimatrecht. Etwa zur gleichen Zeit traten erste einheimische Hersteller von F. in den Niederlanden (Antwerpen), in Deutschland (Nürnberg, Augsburg) und in der Schweiz (Winterthur) in Erscheinung. Durch die Einwanderung von Handwerkern – sog. Habanern – in jener Zeit in die Slowakei und Siebenbürgen entstanden auch dort künstlerisch wertvolle F.

Gegen Ende des 18. Jh. kam die Fayence-Herstellung infolge der Konkurrenz von Steingut und Porzellan fast zum Erliegen; um 1900 begann eine Wiederbelebung.

Federrollenmühle – *zur Gruppe der Ringmühlen zählendes Mahlaggregat,* bei dem zylindrische Walzen durch Federkraft auf eine rotierende, schüsselförmige Mahlbahn gedrückt werden. F. werden zur Mahlung von Magnesit, Feldspat u. a. eingesetzt.

Fehlordnung, atomarer Baufehler – *Abweichung von der dreidimensionalen Periodizität im Gitteraufbau.* Den Einfluß von Verunreinigungen bzw. Dotierungen auf die Abweichungen vom regelmäßig gebauten Idealkristall bezeichnet man als *chemische F.*, während die geometrischen Abweichungen der Gitterbausteine vom streng geordneten Gitteraufbau zu den *strukturellen F.* gezählt werden. Abweichungen der elektrischen Ladungsverteilung vom periodischen Kristallaufbau werden als *elektrische F.* definiert. Sie ist aber letztlich durch die chemische und strukturelle F. bedingt. Die F. hat wesentlichen Einfluß auf die chemischen, elektrischen, magnetischen, optischen und mechanischen Eigenschaften eines Kristalls. Sie ist temperaturabhängig und im Prinzip reversibel, doch beobachtet man, daß F. praktisch eingefroren sind.

Fehlordnung, strukturelle – *geometrische Abweichung vom geordneten Gitteraufbau.* Entsprechend einer null-, ein- und zweidimensionalen Ausdehnung wird unterschieden (s. Bild):

1) Punktdefekte oder atomare Fehlordnung

Für binäre Ionenkristalle wird unterteilt:

- *Frenkel*-Fehlordnung – Leerstellen im Kationenteilgitter und Kationen auf Zwischengitterplätzen,
- *Schottky*-Fehlordnung – Leerstellen im Kationen- und Anionenteilgitter,
- *Anti-Frenkel*-Fehlordnung – Leerstellen im Anionenteilgitter und Anionen auf Zwischengitterplätzen.
- *Anti-Schottky*-Fehlordnung – Kationen und Anionen auf Zwischengitterplätzen.

Diese Gruppe bezeichnet man auch als *Eigenfehlordnung* oder *thermische Fehlerordnung.*

2) Liniendefekte (s. Bild)

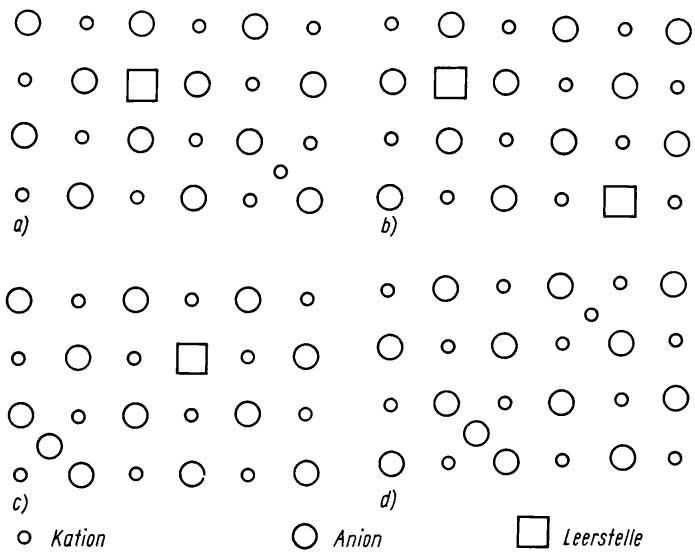
Hierbei sind die beiden Grenzfälle Stufen- und Schraubenversetzungen möglich.

3) Flächendefekte (s. Bilder)

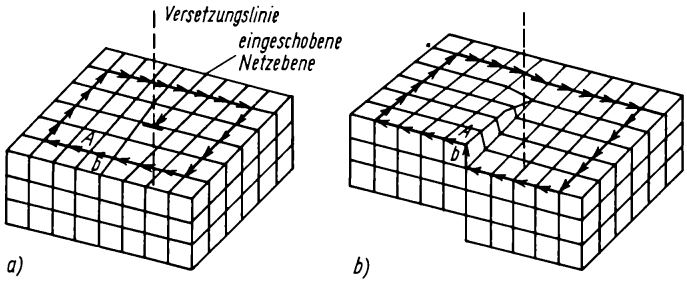
Hier gibt es die Untergruppen: Kleinwinkelkorngrenzen, Großwinkelkorngrenzen, Stapelfehler- und Zwillingsgrenzen.

Feinkaolin – *durch verschiedene Aufbereitungsverfahren aus Rohkaolin gewonnenes feinkörniges Produkt mit hinreichend definierten technologischen Parametern.*

Das aus der Grube angelieferte Material wird zerkleinert (z. B. Walzenbrecher), aufgeschlämmt (z. B. Läuterwäsche), in Spiralklassierern der Gut-



Vier Grundtypen der thermischen Fehlordnung in binären Ionenkristallen vom Typ AB
a) *Frenkel*-Fehlordnung
b) *Schottky*-Fehlordnung
c) Anti-*Frenkel*-Fehlordnung
d) Anti-*Schottky*-Fehlordnung



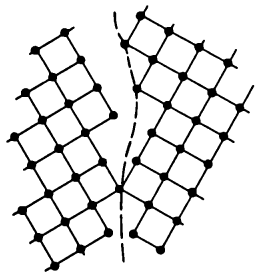
Liniendefekte
a) Stufenversetzung
b) Schraubenversetzung

anteil vom Nichtaufschlämmbaren getrennt, und schließlich wird in Hydrozyklonen der feinkörnige Kaolin vom restlichen Quarzsand weitgehend befreit. In Druckfilteranlagen wird das Wasser entfernt, und das getrocknete Gut wird zum Versand gebracht. Um den Austrag zu verbessern, ist der Prozeß in verschiedene Kreisläufe unterteilt.

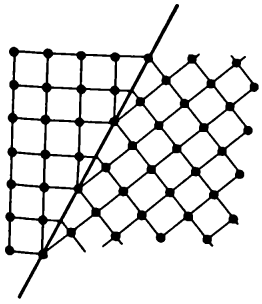
Eigenschaften einiger aufbereiteter F.:

- *Kaolin Oka* (Kemmlitzer Areal)
  Kaolinit 70 bis 82 %, Illit-Montmorillonit mixed layer 8 bis 15 %, Quarz 9 bis 15 %, Illit <3 %; Weißgehalt (ungebrannt) 69 %; Trockenbiegefestigkeit 1 bis 1,3 N mm^{-2}; Trockenschwindung 2 bis 9 %
- *Kaolin Seilitz*
  Kaolinit 35 bis 47 %, Illit-Montmorillonit mixed layer 35 bis 47 %, Quarz 14 bis 20 %; Weißgehalt (ungebrannt) 65 %; Trockenbiegefestigkeit 5,5 bis 6,5 N mm^{-2}; Trockenschwindung 2 bis 10 %
- *EKA-S* (Kemmlitzer Areal)
  Kaolinit 50 bis 60 %, Illit-Montmorillonit mixed layer 22 bis 32 %, Quarz 16 bis 22 %; Weißgehalt (ungebrannt) 65 %, Trockenbiegefestigkeit 4,5 bis 5,5 N mm^{-2}; Trockenschwindung 2 bis 10 %

[53, 54]



Modell einer Großwinkelkorngrenze; Übergangsschicht atomarer Ausdehnung (nach *J. Friedel*)



Kohärente Zwillingsebene (Der rechte verzwillingte Bereich ist durch Spiegelung an der Zwillingsebene entstanden.)

Feinkeramik

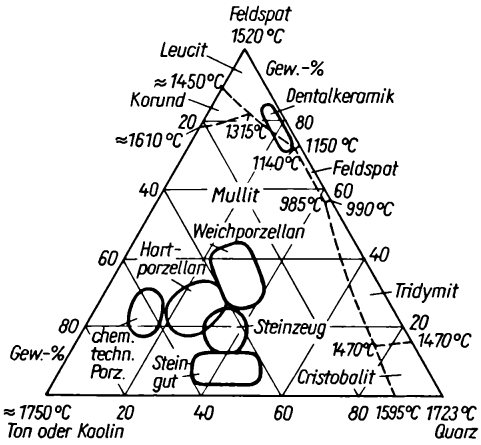
1) Traditionelle Bezeichnung für einen keramischen Industriezweig, der aus der »Feinheit« des keramischen Scherbens zum Unterschied zur Grobkeramik* abgeleitet wurde.* Es muß jedoch bemerkt werden, daß es keine exakte Abgrenzung gibt, da auch beim grobkeramischen Scherben Bindephasen zwischen den grobdispersen Gemengeteilen zu finden sind, die im feinkeramischen Korngrößenbereich <100 µm liegen.

2) Keramische Werkstoffe mit einer Inhomogenitätsgrenze von etwa 0,1 bis 0,2 µm, d. h., die Bruchfläche eines feinkeramischen Werkstoffes wird vom bloßen Auge als homogen empfunden.

Zur F. gehören (mit gleicher Untergliederung wie die Grobkeramik) silicatkeramische, oxidkeramische und nichtoxidkeramische Erzeugnisse. Danach zählen zur F. nicht nur Geschirrporzellane, Vitreous China, Steingut u. a., sondern auch die technischen Porzellane, die hochtemperaturkeramischen und die meisten Erzeugnisse für die Elektrotechnik und Elektronik.

Eine Einordnung der wichtigsten traditionellen feinkeramischen Werkstoffe in das Dreistoffsystem Kaolin/Ton – Quarz – Feldspat zeigt das Bild S. 132.

Feinsteinzeug – *keramische Erzeugnisse mit dichtem farbigem Scherben, in seiner chemischen Zusammensetzung dem Porzellan ähnlich.* Als Rohstoff werden die sog. *Steinzeugtone* verwendet, die bei 1 200 bis 1 300 °C dichtsintern. Während Hohlkör-



Lage der Massen einiger Werkstoffe im Dreistoffsystem Ton bzw. Kaolin – Feldspat – Quarz mit Feldergrenzen und Temperaturen des Dreistoffsystems K_2O–Al_2O_3–SiO_2

per feuchtbildsam geformt werden, wird bei Fußbodenplatten und säurefesten Erzeugnissen das Trockenpressen angewendet. F. setzt sich aus submikroskopischen Mullit- und Cristobalitkristallen, Quarz und wenig Glasphase zusammen. Es wird oft mit einer Salzglasur* versehen. Bei F. wird das *Grob-* und das *Kanalisationssteinzeug* unterschieden.

Feinstpulver (Mikropulver) – *Körnerhaufwerke, deren Korngrößenkennwerte* im 1-µm-Bereich und wesentlich darunter liegen, die BET*-Oberflächen von 60 bis 180 $m^2 g^{-1}$ und eine hohe Sinteraktivität* aufweisen.* F. werden ausschließlich von der chemischen Industrie auf synthetischem Wege gewonnen und zeichnen sich durch hohe Reinheiten aus. An Herstellungsverfahren sind bekannt:

- naßchemische Verfahren* (als vielseitigste Möglichkeiten),
- Reaktionen im festen Zustand*,
- Schmelzverfahren*,
- Abscheidungen aus der Gasphase = CVD (chemical vapour deposition),
- Laserstrahl*,
- Plasmastrahl* = ICP (inductively coupled plasma),
- Funkensintern*,
- Hochgeschwindigkeitsabkühlung = RSR (rapid solification rate).

Die folgende Tabelle (nach *A. Joger*) zeigt eine Übersicht von Rohstoffen, die nach verschiedenen Verfahren gewonnen wurden. [227]

Rohstoff	Pulver-herstellungs-verfahren	Korngröße in µm	Bemer-kungen
Al_2O_3	Hydrolyse von Alkoholat Thermolyse	0,2	
Fe_3O_4	Mischfällung	0,05...0,09	s. naßchem. Verfahren
Metallglas	RSR-Verfahren	0,2	
$MgO \cdot Al_2O_3$	thermische Zersetzung gefriergetrockneter Sulfate	0,1	s. Gefriertrocknung
MgO	Sol-Gel-Verfahren	0,01	s. naßchem. Verfahren
	ICP-Verfahren	0,016 bis 0,044	
Si	Elektrolyse von Fluoridoxid-Schmelzen	0,1	
SiC	carbothermische Reduktion	0,1	
Si_3N_4	CVD-Verfahren von $SiCl_4$-NH_3N_2	0,5	
	CO_2-Laser*	0,2	
TiO_2	Dampfphasenreaktion	0,1	
	Hydrolyse verdünnter Alkohollösung	0,22	
YSZ	Hochtemperatur-Hydrolyse	0,15	(YSZ = yttriumstabilisiertes ZrO_2)
ZnO	CVD-Verfahren von Zn-Acetylacetonat	0,02	
ZrO_2	Hydrothermalsynthese	0,01...0,1	s. naßchem. Verfahren

Feinstruktur – *s.* Röntgenanalyse

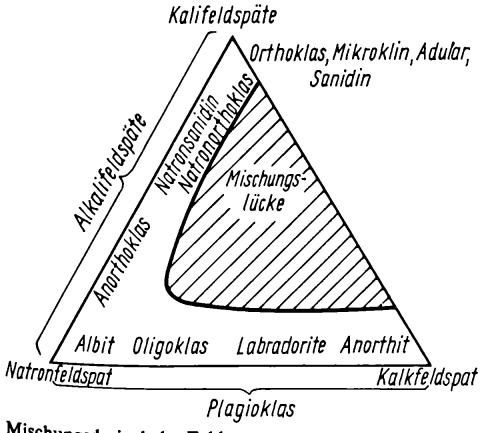
Feintaster – *Geräte zur Messung und Anzeige kleiner Maß- und Lageänderungen auf den Oberflächen von Werkstücken.* Ihre Arbeitsweisen beruhen auf mechanischen, optischen, elektrischen (kapazitiven) und pneumatischen Prinzipien. F. eignen sich besonders zum Vergleich der integralen Werte von Werkstücken, die nach gleicher Technologie hergestellt worden sind.

Feinzerkleinerung – *Zerkleinern* von Körnern mit einer max. Aufgabekorngröße von 5 mm auf Korngrößen bis etwa 10 µm.* Zerkleinern auf Korngrößen* <10 µm wird gewöhnlich als Feinstzer-

kleinerung bezeichnet, wobei die Unterteilung willkürlich ist, da strenge Grenzen nicht möglich sind. Für die F. stehen eine Reihe von Mahlaggregaten* zur Verfügung; die Mahlung erfolgt je nach Rohstoff/Zwischenprodukt und Anforderung an das Pulver naß oder trocken. Der Energiebedarf für die F. hängt von der Natur des Mahlgutes und der geforderten Feinheit des Pulvers ab; er bewegt sich in weiten Grenzen, z. B. benötigt eine Trommelmühle für Vermahlung von Quarz bei einer Aufgabekorngröße von 5 bis 10 mm und einer Austragkorngröße von 0,04 bis 0,5 mm etwa 10 bis 20 kW h t^{-1}. [15, 112, 123, 330]

Feldbrandofen – *in der Frühzeit benutzter, primitiver Ofen zum Brennen von Mauerziegeln.* Die ungebrannten Ziegel wurden so gestapelt, daß waagerechte Feuerkanäle frei blieben, in die billiges Brennmaterial kam. Nach dem Abdichten des Stapels mit Erde oder Lehm wurde gezündet. An bestimmten Stellen blieben Löcher für die Luftzufuhr und den Abzug der Rauchgase. In moderner Form taucht der F. wieder in den Niederlanden und den USA auf. Auf einer vorbereiteten Platte mit Erdgasanschluß befinden sich die gestapelten Ziegel.

Feldspate – *Gruppe von Alumosilicaten*, die in tonkeramischen Massen als Flußmittel* erhebliche Bedeutung haben.* F. gehören ihrer Struktur nach zu den Gerüstsilicaten, bei denen im SiO_4-Tetraeder das Si teilweise durch Al ersetzt ist; zum Ladungsausgleich sind als Kation K^+, Na^+, Ca^{++}, seltener Ba^{++}, Sr^{++} eingebaut. Bisweilen werden noch geringfügige Mengen an Li^+, Rb^+ und Cs^+ gefunden. F. bilden isomorphe, hauptsächlich binäre Reihen.



Mischungsdreieck der Feldspate

Eckpunkte des Mischkristallsystems sind:

1) Orthoklas ($K[AlSi_3O_8]$; griech.: orthos = rechtwinklig, klastein = spalten)

Theoretische chemische Zusammensetzung: 16,9 % K_2O, 18,4 % Al_2O_3, 64,7 % SiO_2; häufig noch einige % Na_2O, BaO, FeO, Fe_2O_3

Kristallographie: monoklin; gut spaltbar nach (001) und (010)

Physikalische Eigenschaften: hellrosa, rötlich-weiß, trüb; $H = 6$; $D = 2{,}62\ g\ cm^{-3}$; $n_{z,y,x} = 1{,}524$, 1,522, 1,518; Kalifeldspate schmelzen bei etwa 1 150 °C inkongruent unter Bildung von Leuzit* ($K[AlSi_2O_6]$) und sind bei etwa 1 510 °C vollständig geschmolzen. (In [563] wird das inkongruente Schmelzen des Orthoklas beim Porzellanbrand verneint.)

2) Albit ($Na[AlSi_3O_8]$; lat.: albus = weiß)

Theoretische chemische Zusammensetzung: 11,8 % Na_2O, 19,4 % Al_2O_3, 68,8 % SiO_2; immer auch CaO aufgrund der Na-Ca-Diadochie*

Kristallographie: triklin; gut spaltbar

Physikalische Eigenschaften: weiß-grau; Glasglanz; $H = 6$; $D = 2{,}62\ g\ cm^{-3}$; $n_{z,y,x} = 1{,}536$, 1,529, 1,525; $T_S = 1\,115$ °C

3) Anorthit ($Ca[Al_2Si_2O_8]$)

Kommt in der Natur fast nur in gekoppelter heterovalenter Diadochie Si-Al und Ca-Na vor.

Binäre Mischreihen sind:

- Kalium-Natrium-F.
  Aufgrund des großen Unterschiedes im Kationenradius ($K^+ = 0{,}133$ nm, $Na^+ = 0{,}097$ nm) ist isomorphe Vertretung der beiden Kationen im ($AlSiO_4$)-Gerüst nur oberhalb 600 °C möglich. Bei Abkühlung tritt Entmischung ein. Die Entmischungen haben die Namen: Perthit (= Albitkristalle in Orthoklas), Antiperthit (= Orthoklaskristalle in Albit).
- Natrium-Calcium-F. oder Plagioklase (»Schiefwinkeligspaltende« – griech.: plagios = schief)
  Sie bilden lückenlose Mischkristalle mit folgenden Bezeichnungen (An = Anorthit-Anteil in Mol%):
  0 bis 10 % An = Albit
  10 bis 30 % An = Oligoklas
  30 bis 50 % An = Andesin
  50 bis 70 % An = Labradorit
  70 bis 90 % An = Bytownit
  90 bis 100 % An = Anorthit

Keramik der F.

- In der rohen (ungebrannten) Masse wirken F. als Magerungsmittel*.

- Allgemein gelten der Kalifeldspat als Massespat, da er tonkeramischen Massen ein breites Sinterintervall verleiht, und der Natriumfeldspat als Glasurspat, da er am Schmelzpunkt sofort in den schmelzflüssigen Zustand übergeht und die Viskosität* rasch mindert.
- Über die Feinheit des F. und des Quarzes und eine sehr gute homogene Verteilung beider in der Masse kann man Sintertemperatur* und -zeit steuern.
- Die Flußmittelwirkung der F. wird durch eutektische Punktschmelzen eingeleitet, die sich an Kontaktstellen zwischen F. und Kieselsäure schon knapp unter 1000 °C bilden. Bei weiterem Temperaturanstieg wächst die Schmelzphasenmenge durch Anlösen der festen Phasen *(Rasch).*
- Alkaliionen aus der Schmelzphase aktivieren die Umkristallisation des Primärmullits in Sekundärmullit.
- Im Porzellan kommen die Unterschiede im Schmelzverhalten der F. nicht so deutlich zur Geltung, wie zu erwarten wäre. Die höhere Lösungsgeschwindigkeit des Quarzes in der Natriumfeldspatschmelze kompensiert zu einem gewissen Grade die niedrigere Viskosität solcher Schmelzen *(Schüller).*
- Im Spannungsfeld Scherben*/Glasur* bedingen Massen mit Kaliumfeldspat Druckspannungen; Natriumfeldspate bewirken schwache Zugspannungen *(Reumann).*

[8, 27 bis 29]

s. Arkose, Pegmatit, Feldspatsand.

Feldspat-Ersatzstoffe – *Gesteine oder synthetische Produkte (Fritten), die auf Grund ihres Alkali- oder Erdalkaligehalts Flußmittelwirkung haben.* Bei farbigen oder dunklen Massen (Steinzeug, Fußbodenplatten, Schleifscheiben) greift man oft auf geeignete Granite, Porphyr, Pechstein, Basalt, Diabas u. a. zurück. Wird jedoch auf bestimmte Effekte gezielt (z. B. alkalifreies Porzellan), muß man auf synthetische Stoffe (z. B. Bariumfritten) übergehen.

s. Felspatsande

Feldspatglasur – *dünnflüssige, blei- und borfreie Rohglasur* für Steinzeug, Hart- und Weichporzellan und den höchsten Glattbrand bei Steingut. Für einen Schmelzbereich von 1200 bis 1300 °C wird folgende Grenzformel angegeben:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}20\ldots0{,}45\ R_2O\\0{,}55\ldots0{,}80\ RO\end{array}\right\}\cdot 0{,}25\ldots0{,}6\ Al_2O_3\cdot 2{,}8\ldots5{,}0\ SiO_2$$

Für den Bereich 1320 bis 1430 °C lautet die Grenzformel:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}1\ldots0{,}2\ R_2O\\0{,}8\ldots0{,}9\ RO\end{array}\right\}\cdot 0{,}5\ldots1{,}2\ Al_2O_3\cdot 5\ldots12\ SiO_2$$

R_2O wird aus Kali- oder Natronfeldspat entnommen, für RO können CaO, BaO, MgO und ZnO eingeführt werden. Je mehr Kaolin und Quarz oder Scherbenmehl in die F. eingeführt werden, desto schwerschmelzender wird sie.

Feldspatsand – *Verwitterungsreste feldspatführender Gesteine, die außer Quarzsand, Glimmer und tonigen Substanzen oft hohe Anteile an Feldspat enthalten.* Wertvoll ist, daß Feldspat fast nur in Form des Kalifeldspats vorkommt, der der Masse eine gute Standfestigkeit im Feuer verleiht. Die im Süden der DDR gelegenen Vorkommen an F., bei Kahla, Orlamünde, Blankenhain und Neuhaus-Schierschnitz, weisen einen Feldspatgehalt von 25 bis 35 % auf.

Felsquarzit – *aus durch Gebirgsdruck verfestigten Sandkörnern entstandenes Quarzgestein.* Die ursprünglich auch vorhandene Kittsubstanz ist in den kristallinen Zustand übergegangen und genauso orientiert wie die Quarzkristalle, so daß sie heute kaum noch nachweisbar ist. Die Bruchgrenze geht beim Durchschlagen durch die Körner, ohne sie zu verformen. Treten die Korngrenzen beim Bruch jedoch als mechanische Schwächezonen in Erscheinung, wird das Gestein als Sandstein bezeichnet. Im allgemeinen wandeln F. schlecht um, im Gegensatz zu den Zementquarziten.

s. System SiO_2.

Ferrimagnetismus – *s.* Magnetismus

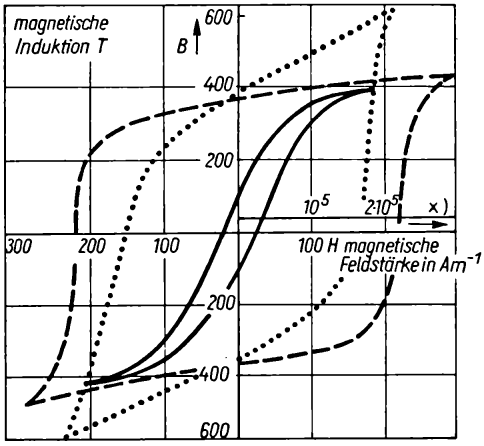
Ferrite (lat.: ferrum = Eisen) – *ferrimagnetische, oxidische Festkörper, charakterisiert durch einen nichtlinearen und nicht eindeutigen Zusammenhang zwischen Magnetfeld H und magnetischer Induktion B,* ausgedrückt durch die Formel

$$B = \mu_0 H + I$$

μ_0 Induktionskonstante (1,256 mT/k Am^{-1})
I magnetische Polarisation.

Grafisch läßt sich dieser Zusammenhang in den sog. Hystereseschleifen $B = f(H)$ darstellen (s. Bild).

F. kommen in der Natur als Magnetit ($FeO \cdot Fe_2O_3$), Jakobsit (Mno, MgO) ($FeO \cdot Fe_2O_3$) und als Trevorit ($NiO \cdot Fe_2O_3$) vor. Bereits 1909 wurde von *Hil-*



Hystereseschleifen von Ferriten
× obere Abszisse (gilt nur für Hartmagnete)
– weichmagnetische Ferrite
– – Rechteckferrite
··· hartmagnetische Ferrite

pert ein Patent zu Herstellung von F. angemeldet, wobei er schon auf den verhältnismäßig hohen spezifischen elektrischen Widerstand der F. und auf dessen Bedeutung für alle Frequenzbereiche der Nachrichtentechnik hinwies. Zur Verbesserung der Eigenschaften von F. haben in der Folgezeit vor allem die Pionierarbeiten des Holländers *Snoek* beigetragen; der neue Magnetismus, der Ferrimagnetismus*, wurde theoretisch von dem Physiker *Neel* geklärt.

F. haben gegenwärtig eine breite wirtschaftliche Anwendung erreicht, da sie funktionsbestimmende Lösungen in vielen modernen Konsumgütern, wie Fernseh- und Phonogeräten, in Aufzeichnungsgeräten, in der Speichertechnik sowie in der Nachrichtentechnik realisieren helfen. (Lediglich das Starkstromgebiet mit 50 Hz konnte bisher von F. noch nicht erobert werden, da ihre Sättigungsmagnetisierung im Vergleich zu den ferromagnetischen Schwermetallegierungen noch etwa um den Faktor 3 niedriger liegt.) Obwohl sich durch das internationale Normenwerk eine Standardisierung der F.-Hauptgruppen abzeichnet, erfordert die spezielle Applikation oft die parameteroptimierte Herstellung von Sonderwerkstoffen.

Nach der Kristallstruktur, der chemischen Zusammensetzung und den Anwendungseigenschaften werden die F. gewöhnlich in die beiden Hauptgruppen »weichmagnetisch« und »hartmagnetisch« entsprechend den Hystereseschleifen unterteilt:

- weichmagnetische F. – F. mit Spinellstruktur*, Granatstruktur*, Perowskitstruktur; die technische Bedeutung der letzteren Gruppe ist gering,
- hartmagnetische F. bzw. F. mit Vorzugsrichtung* – F. mit Magnetoplumbitstruktur* bzw. Oxide höherer Ordnung.

[110, 133, 256, 322, 324]

Ferrite mit Granatstruktur – *ferrimagnetische oxidische Festkörper der Zusammensetzung* $(Me_1^{3+})_3\ (Me_2^{3+})_5\ O_{12}$. Die kubische Elementarzelle umfaßt 8 Formeleinheiten und beinhaltet damit 96 Sauerstoffionen und 64 Kationen. Entsprechend der Sauerstoffkoordination werden Tetraederplätze ($KZ = 4$), Oktaederplätze ($KZ = 6$) und Dodekaederplätze ($KZ = 8$) unterschieden. Während Tetraeder- und Oktaederplätze bevorzugt von Fe^{3+}, Al^{3+} und V^{5+} besetzt werden, nehmen bei den technisch interessanten Granatferriten Y^{3+}, die seltenen Erden (Gd^{3+}, Tb^{3+}, Ce^{3+} ...), Ca^{2+}, B^{3+} die Dodekaederplätze ein.

F. m. G. werden in der Höchstfrequenzapplikation im Gigahertzbereich und für die Blasenspeichertechnik eingesetzt. [256]

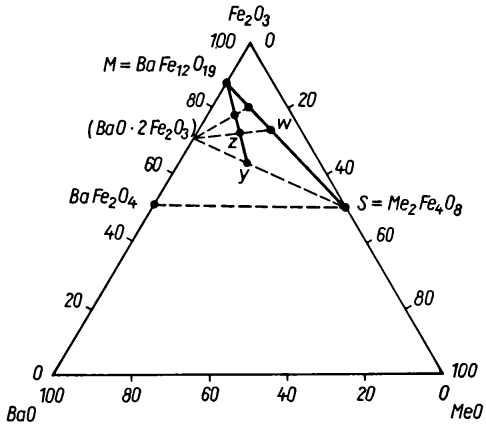
Ferrite mit Magnetoplumbitstruktur – *ferrimagnetische oxidische Festkörper von hexagonaler Struktur, die als Dauermagnetwerkstoffe (F. mit Vorzugsrichtung*) und für Hochfrequenzanwendungen geeignet sind.* Man unterscheidet folgende Typen:

- $M = Ba\,Fe_{12}\,O_{19}$
- $Y = Ba_2\,Me_2\,Fe_{12}\,O_{22}$
- $W = Ba_2\,Me_2\,Fe_{16}\,O_{27}$
- $Z = Ba_3\,Me_2\,Fe_{24}\,O_{41}$

und weitere Mischverbindungen (s. Phasendiagramm BaO – MeO – Fe_2O_3, S. 136).

Typ M hat die allgemeine Formel $Me_1^{2+}\ Me_{12}^{3+}\ O_{19}$ mit Ba, Sr, Pb für Me_1^{2+} und Fe^{3+}, Al^{3+} für Me^{3+}. Die Elementarzelle besteht aus zwei Formeleinheiten mit 10 Sauerstoffschichten und 38 Sauerstoffionen, $2Ba^{2+}$ (bzw. Sr^{2+}, Pb^{2+}) und $24Fe^{3+}/Al^{3+}$. Jede Schicht enthält 4 Sauerstoffionen, in jeder 5. Schicht ist ein Sauerstoffion durch $Ba^{2+}/Sr^{2+}/Pb^{2+}$ ersetzt (s. Bild S. 136 unten). Die *c*-Achse weist eine Länge von 2,32 nm, die *a*-Achse von 0,588 nm auf. Man kann die Elementarzelle auch als eine Schichtfolge $R\,S\,R^+\,S^+$ auffassen.

Analog kann man die Elementarzellen der Ty-



Phasendiagramm des Systems BaO–MeO–Fe_2O_3, wobei Me = Ni^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}

pen Y als 3× 6 Schichten, Typ W als 14 Schichten und Typ Z als 22 Schichten wiedergeben. [256]

Ferrite mit Perminvarverhalten – *eine Gruppe von Ferriten, die durch eine starke uniaxiale Anisotropie gekennzeichnet ist und bei geringer Ansteuerung sehr kleine Hystereseverluste aufweist.*

Dieser sog. Perminvareffekt ist temperaturabhängig und bleibt jedoch nur bis zu einer bestimmten Feldstärke, der Öffnungsfeldstärke, erhalten. Oberhalb dieser Grenze treten irreversible Veränderungen ein; so bleibt die Hystereseschleife auch bei Rückkehr zu niederen Feldstärken geöffnet, und die Verluste steigen an. Werden F. m. P. im Magnetfeld abgekühlt, so ergibt sich je nach Lage des Magnetfeldes zum magnetischen Fluß eine Rechteckschleife (Abkühlung im Längsfeld) oder eine für Weichferrite übliche Schleifenform (Abkühlung im Querfeld). Perminvarverhalten zeigen z. B. NiZn-Ferrite mit über 50 Mol-% Fe_2O_3 und geringen Zusätzen an CoO. [256, 322, 324]

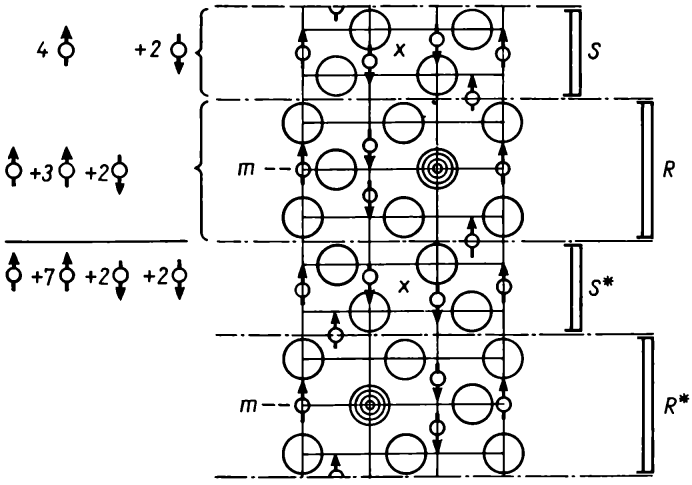
s. Ferrite mit rechteckiger Hystereseschleife

Ferrite mit rechteckiger Hystereseschleife – *spezielle Typen von Ferriten* der Gruppe mit Spinellstruktur, die durch eine rechteckige Form der Hystereseschleife* charakterisiert sind.*

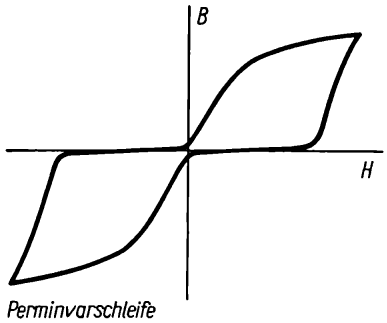
Diese Ferritgruppe fand bis Ende der 70er Jahre vorwiegend als Speicherringkerne (Außendurchmesser: 1,0 bis 0,2 mm) in Rechneranlagen in großer Stückzahl Verwendung, gegenwärtig gewinnen sie in der Mikrowellenanwendung an Bedeutung.

Eine rechteckige Hystereseschleife wird bei MnMg-, MnCu-, NiMn-, NiZnCo- und LiMe-Ferriten gefunden (Me = Metall). Grundsätzlich muß dabei zwischen spontaner und induzierter Rechteckigkeit unterschieden werden; die ersten weisen die Rechteckschleife sofort nach der Sinterung auf, dagegen geht bei der zweiten Gruppe die Perminvarschleife erst nach einer Magnetfeldtemperung unterhalb der *Curie*temperatur in die Rechteckschleife über (s. Bild).

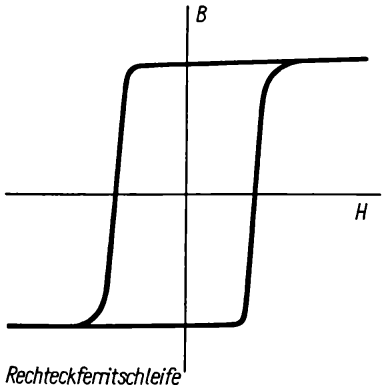
Die Formgebung der Speicherkerne erfolgt in sog. Rundläuferpressen (1 200 Rohlinge/min) oder durch Foliengießen mit nachfolgendem Ausstanzen. Die Sinterung wird in elektrisch beheizten Öfen bei Temperaturen zwischen 1 000 bis 1 300 °C ausgeführt. Während MnMg-Ferrite in kontrollierter N_2-Atmosphäre abgekühlt werden



Darstellung der hexagonalen M-Struktur
2 Ba^{2+} (◎)
38 Sauerstoffionen (○)
24 Fe^{3+}-Ionen (○)



Perminvarschleife



Rechteckferritschleife

Überführung einer Perminvarschleife in eine Rechteckschleife durch Magnetfeldtemperung von 10′ bei 250 °C und einem Feld von 4 A cm^{-1} (nach *Michalowsky*)

müssen, können LiMe-Ferrite vollständig an Luft behandelt werden. Die technischen Parameter der F. m. r. H. werden wesentlich vom Gefüge beeinflußt, es muß homogen und ausscheidungsfrei sein und ein enges Band an Kristallitgrößen aufweisen. [256, 322, 339]

Ferrite mit Spinellstruktur – *Ferrite vom Typ $A^{2+}B_2^{3+}O_4$*, wobei für $A^{2+} = Fe^{2+}$, Zn^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, und für $B^{3+} = Fe^{3+}$, Al^{3+}, Mn^{3+} eintreten können.

Unter Berücksichtigung der Elektroneutralität können in bestimmten Bereichen ein-, vier- und fünfwertige Kationen (Li^+, Ti^{4+}, Ge^{4+}, V^{5+}) eingebaut werden. Die Einheitszelle der Spinelle* besteht aus 8 Formeleinheiten und besitzt kubische Struktur; durch Einbau bestimmter Kationen (z. B. Mn^{3+}) können auch Abweichungen von der kubischen Symmetrie entstehen.

Aus der Sauerstoffionenkonfiguration innerhalb der Einheitszelle ergeben sich für die Kationen ausgezeichnete, unterscheidbare Gitterplätze:

- *A*- oder Tetraederplätze (4 Sauerstoffionen als nächste Nachbarn der Kationen),
- *B*- oder Oktaederplätze (6 Sauerstoffionen als nächste Nachbarn der Kationen).

Daraus folgt für den stöchiometrischen Fall, daß von 64 vorhandenen Tetraederplätzen 8 und von 32 vorhandenen Oktaederplätzen 16 besetzt sind. Werden ausschließlich Tetraederplätze von zweiwertigen Kationen besetzt, spricht man von normalen Spinellen, nehmen dagegen die zweiwertigen Kationen Oktaederplätze ein, spricht man von inversen Spinellen. Technisch interessante F. weisen im allg. einen gemischten Inversionsgrad in Form von

A-Plätze	*B*-Plätze
$(Me^{2+}\,Me^{3+}_{1-\sigma})$	$(Me^{2+}_{1-\sigma}\,Me^{3+}_{1+\sigma}\,O_4)$

auf. Hierbei stellt σ das Maß der Inversion dar.

Die Kenntnis des Maßes der Inversion ist wichtig, weil über den Einbau von Kationen mit unterschiedlichen magnetischen Momenten und ihre Verteilung auf *A*- und *B*-Plätze die resultierende Magnetisierung, die Anisotropie, die Magnetostriktion u. a. bestimmt und damit wichtige Hinweise für die Wahl der Zusammensetzung der F. für bestimmte Anwendungen gewonnen werden.

Eine Übersicht über die Kationenverteilung in einigen ausgewählten Spinellen gibt nachfolgende Tabelle (nach *Michalowsky*). [256, 322, 324, 339]

	Formel	*A*-Plätze	*B*-Plätze
Magnetit	Fe_3O_4	Fe^{3+}	$Fe^{2+}Fe^{3+}$
Manganferrit	$MnFe_2O_4$	$Mn^{2+}_{0,8}Fe^{3+}_{0,2}$	$Mn^{2+}_{0,2}Fe^{2+}_{0,8}Fe^{3+}$
Zinkferrit	$ZnFe_2O_4$	Zn^{2+}	$Fe^{2+}Fe^{3+}$
Nickelferrit	$NiFe_2O_4$	Fe^{3+}	$Ni^{2+}Fe^{3+}$

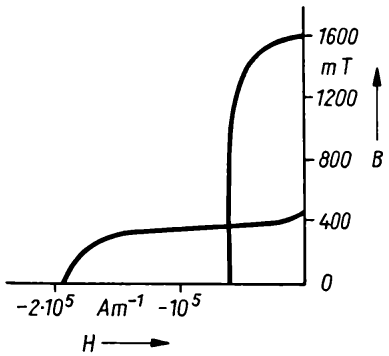
Ferrite mit Vorzugsrichtung – *Gruppe von Ferriten, die durch eine magnetische Vorzugsrichtung in Richtung der hexagonalen c-Achse ausgezeichnet ist und als Hart- oder Dauermagnetwerkstoff, z. B. in kleinen Motoren, Lautsprechern u. a. oder als Bauelement für die mm-Wellentechnik, eingesetzt wird.*

Nach ihrem Aufbau stellen sie Ferrite mit Magnetoplumbitstruktur* dar, nach ihrer chemischen Zusammensetzung $BaFe_{12}O_{19}$ bzw. $SrFe_{12}O_{19}$, was im Versatz $BaO \cdot 5{,}5$ bis $6{,}0\ Fe_2O_3$ bzw. $SrO \cdot 6{,}0\ Fe_2O_3$ entspricht.

Das vorgesinterte Material wird so fein aufgemahlen, daß die Kristallite aus einem *Weiß*schen Bezirk bestehen. Die Formgebung durch Pressen

kann ohne äußeres Magnetfeld erfolgen; man bezeichnet diese Werkstoffe als isotrop. Werden dagegen beim Pressen die Kristallachsen der Kristallite durch ein äußeres Magnetfeld ausgerichtet, so entstehen anisotrope Ferrite. Im Idealfall müßte hier die Sättigungsmagnetisierung gleich der Remanenz sein. Die Sinterung wird bei Temperaturen von 1 200 bis 1 400 °C ausgeführt.

Die Eigenschaften von Hartferriten werden gewöhnlich durch die Entmagnetisierungskurve (s. Bild) beschrieben, d. h. durch den Teil der



Entmagnetisierungskurve

Hysteresisschleife, der im 2. Quadranten der grafischen Darstellung liegt. Das Produkt aus B und H wird für jeden beliebigen Punkt der Entmagnetisierungskurve als Energieprodukt bezeichnet. Der Maximalwert $(B\,H)_{max}$ wird im allg. als kennzeichnender Gütewert verwendet. Für isotropen Bariumferrit werden Werte von $(B\,H)_{max} \approx 8 \cdot 10^5\,\mathrm{T\,A\,m^{-1}}$, für anisotropen Bariumferrit $(B\,H)_{max} \approx 30 \cdot 10^5\,\mathrm{T\,A\,m^{-1}}$ genannt. (Metallische Legierungsmagnete erreichen wegen der höheren Remanenzinduktion Werte von 25 bis $55 \cdot 10^5\,\mathrm{T\,A\,m^{-1}}$.) Durch Zusätze lassen sich sowohl Remanenzinduktion als auch Koerzitivfeldstärke verbessern, so daß man heute remanenz- und koerzitivfeldstärkebetonte Hartferrite unterscheidet. [144, 256, 322, 323, 339]

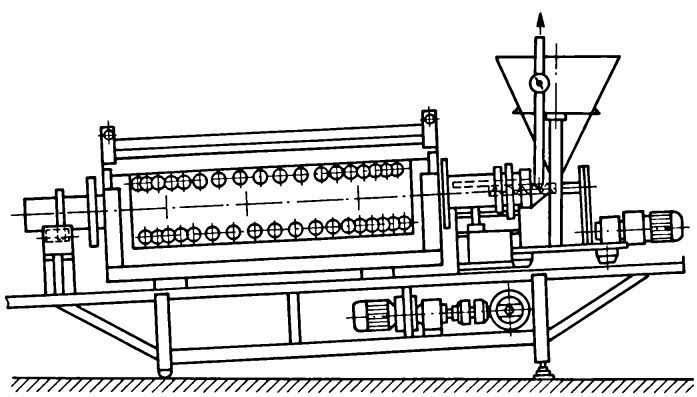
Ferritherstellung

Zu den Verfahrensschritten der Produktion des Sinterwerkstoffes Ferrit zählen: Rohstoffauswahl – Versatzzusammenstellung* – Mischen* – Vorsintern* (Calcinieren) – Zerkleinern* – Formgebung* – Sinterung* – Endbearbeitung einschließlich Kontrolltechnologie*.

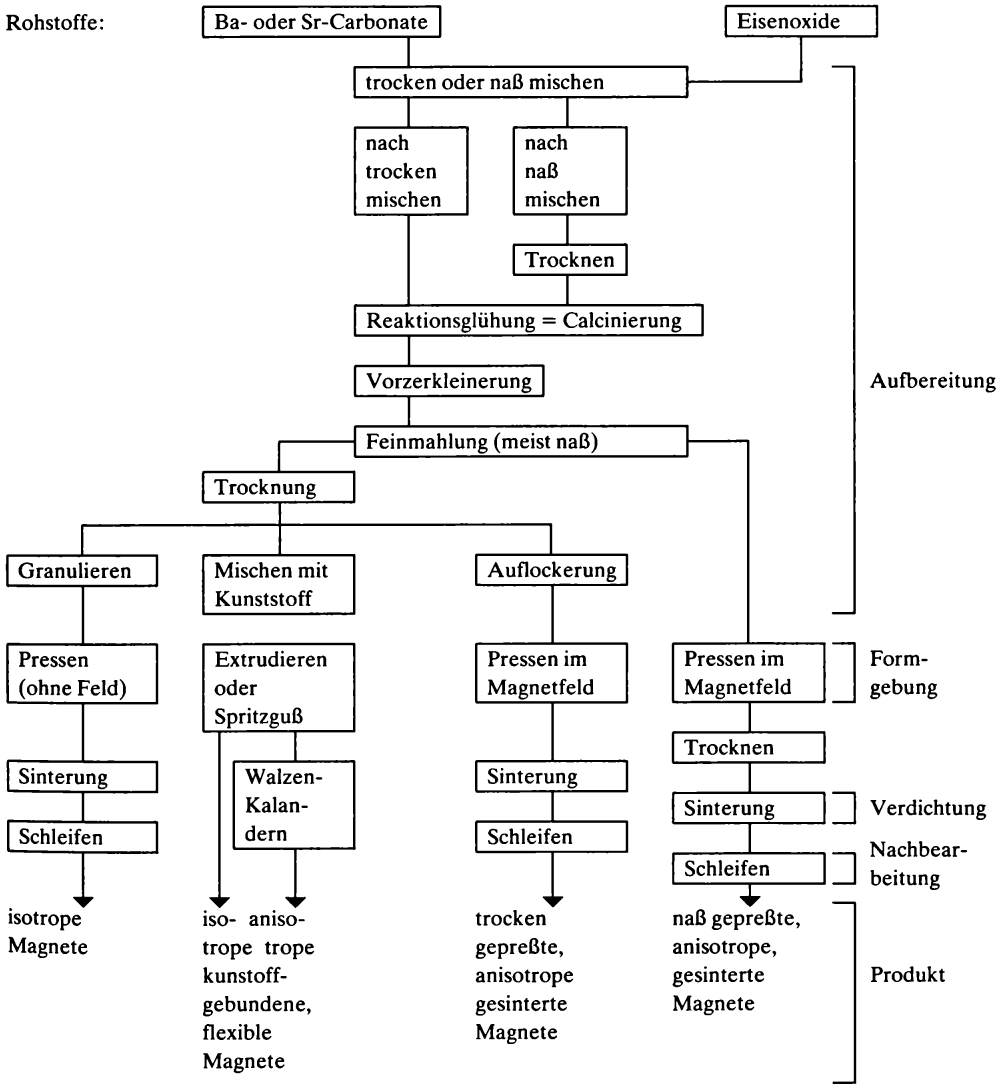
1) weichmagnetische Ferrite

Als Rohstoffe werden gewöhnlich Fe_2O_3-Pulver, die bei der Regenerierung der Beizsäuren in Stahlwerken anfallen, verwendet. Die übrigen Versatzkomponenten werden in Form von Carbonaten, Sulfaten oder Chloriden eingeführt. Die Mischung der Versatzkomponenten muß sehr sorgfältig ausgeführt werden. Eine besonders effektive Mischung wird durch gemeinsames Ausfällen der Metallionen aus Lösungen (Kopräzipitation*) erhalten. Das sprühgetrocknete Granulat wird meist in Drehrohröfen* oder Wirbelschichtgranulatoren* vorgesintert (s. Bild).

Das Vorsintergut wird in einer nachfolgenden Feinzerkleinerung* auf Korngrößen von etwa 1 µm aufgemahlen, unter Zusatz von Preßhilfsmitteln* zu Granulat* verarbeitet und durch Axial- oder isostatische Pressen zu Formlingen verdichtet. W. F. werden bei Temperaturen von 1 100 bis 1 350 °C gesintert. Das Sinterregime beeinflußt wesentlich die magnetischen Eigenschaften. Insbesondere muß der Sauerstoffpartialdruck während des gesamten Sintervorgangs und der Abkühlung ständig kontrolliert werden.



Elektrisch indirekt beheizter Drehrohrofen



Schematische Übersicht zum Herstellungsprozeß keramischer Dauermagnete (nach *Heimke*)

Wegen der hohen Anforderungen an die Permeabilität* der Ferrite müssen genügend Fe^{2+}-Ionen im Gitter vorhanden sein; andererseits bedingen diese aufgrund der erhöhten elektrischen Leitfähigkeit wiederum erhöhte Verluste im Werkstoff. Die elektrische Leitfähgkeit kann jedoch durch Zusätze von SiO_2, CaO, B_2O_3 u. a., die an den Korngrenzen eine Sekundärphase hervorrufen, gemindert werden.

Allgemein können die Zusätze nach ihren Wirkungen unterteilt werden (nach *I. Esper*):

- Sinterhilfsmittel; sie fördern die Sinterreaktionen teilweise durch Bildung flüssiger Phase; das Kornwachstum wird ebenfalls angeregt. Hierzu zählen Borate, Alkalifluoride u. a.
- Zusätze, die Ausscheidungen an den Korngrenzen bilden, wie Ca, Si, Zr, B.
- Substitutionen; das sind Kationen (Cd, Co, V,

Cu u. a.), die im Ferritgitter normale Gitterplätze von Metallionen (Fe, Mn, Ni, Zn) besetzen und so die Stoffeigenschaften wie Magnetisierung, magnetische Polarisation, magnetokristalline Anisotropie und Nachwirkungseffekte beeinflussen.

2) hartmagnetische Ferrite

Als Rohstoffe dienen α-Fe_2O_3 und die Carbonate von Ba/Sr. Durch intensives Mischen und Vorsintern bei Temperaturen von 1 100 bis 1 300 °C wird die ferrimagnetische Phase $MeO \cdot 6Fe_2O_3$ erhalten. Das Vorsinterprodukt wird trocken/naß auf Korngrößen <1µm aufgemahlen. Die Formgebung erfolgt im allg. durch eine spezielle Preßtechnik: den hexagonalen Ferritkristalliten wird in einer Pulver-Wasser-Suspension die Beweglichkeit gegeben, sich mit ihrer c-Achse während des Pressens im Magnetfeld auszurichten. Auf diese Weise ist es gelungen, bis zu 95 % der theoretischen magnetischen Sättigung zu erreichen. Die Endsinterung wird bei Temperaturen von etwa 1 150 bis 1 250 °C durchgeführt. Die Schwindung der anisotropen Ferrite beträgt in Richtung der c-Achse etwa 25 %, in den anderen Richtungen 5 bis 8 % weniger; isotrope Ferrite schwinden etwa 20 %.

Außer den gesinterten Ferriten werden noch kunststoffgebundene Magnete hergestellt. Das Verhältnis von feingemahlenen Ferriten zu Kunststoff (Duroplaste, Elastomere, Gummi) beträgt etwa 70:30. Die Verarbeitung geschieht durch Pressen*, Spritzgießen*, Strangpressen*, Kalandrieren*. [112, 133, 144, 256, 322 bis 325]

Ferroclip-Steine – *blechummantelte Wölbsteine, die im oberen Teil des Blechmantels eingepreßte Drahtbügel aufweisen und insbesondere in Hängedekken* verwendet werden.* Durch Verzunderung und Fe^{2+}-Diffusion tritt eine Abdichtung und Verfestigung der Fugen ein. Die Steine werden mittels der Drahtbügel an entsprechend gebogenen Trägern der Gewölbekrümmung aufgehängt. Diese Konstruktion ermöglicht den Steinen, Spannungen, die durch Wärmedehnungen ausgelöst werden, in bestimmtem Maße auszuweichen. Da sich die Steine beim Erhitzen an der Feuerseite stärker ausdehnen als an der Oberseite und in SM-Öfen noch durch Eisenoxidaufnahme wachsen, verändern sich die Spannungen während des Schmelzprozesses ständig.

Ferroelektrika (Seignetteelektrika, benannt nach dem Seignettesalz/Kaliumnatriumtartrat $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4\,H_2O$, da bei ihm die Ferroelektrizität zuerst beobachtet wurde) – *Werkstoffsysteme auf der Basis $BaTiO_3$ – $(BaPb)TiO_3$ – $Pb(TiZr)O_3$ – $PbTiO_3$ – $PbZrO_3$ u. a. (PZT-Keramik*), die für Kondensatoren*, piezoelektrische Wandler, Ultraschallschwinger, Frequenzfilter u. a. herangezogen werden und durch das Phänomen Ferroelektrizität charakterisiert sind.*

Ferroelektrizität äußert sich durch

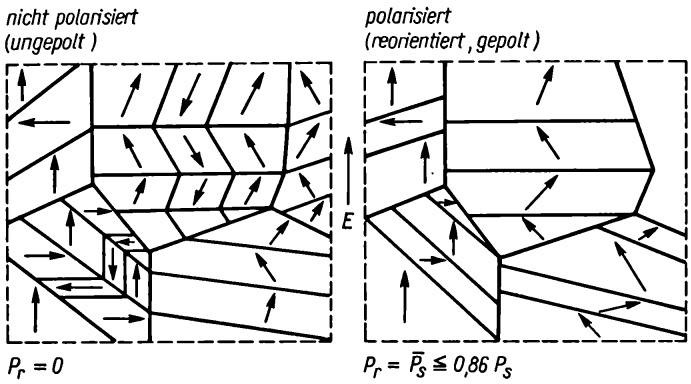
- Existenz von Bereichen (Dipolbereichen) spontaner Polarisation, sog. Domänen, die aus energetischen Gründen statistisch verteilt sind (s. Bild *a* S. 141).
- Nach Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes erhöht sich die Polarisation beträchtlich, wobei zwischen Polarisation und elektrischer Feldstärke ein nichtlinearer Zusammenhang besteht, der durch eine Hystereseschleife beschrieben wird (s. Bild *b* S. 141).

  Bei Abschalten des elektrischen Feldes bleibt die remanente Polarisation P_r zurück; erst bei Anlegen eines entgegengesetzten Feldes setzt Depolarisation ein, die bei der Koerzitivfeldstärke E_c zum vollständigen Verschwinden der Polarisation führt.
- Die Dielektrizitätszahl ist in bezug auf die remanente Polarisation richtungsabhängig und kann sehr hohe Werte annehmen (>10 000).
- Die Dielektrizitätszahl erreicht bei der *Curie*temperatur* ihr Maximum, d. h., sie ist stark temperaturabhängig. Oberhalb dieser Temperatur gehen die Stoffe in den paraelektrischen Zustand über.
- Der Wert der remanenten Polarisation in Verbindung mit einer hohen Dielektrizitätszahl bestimmt die Größe der piezoelektrischen Aktivität (Piezoelektrizität*) und des pyroelektrischen Effektes (Pyroelektrizität*).

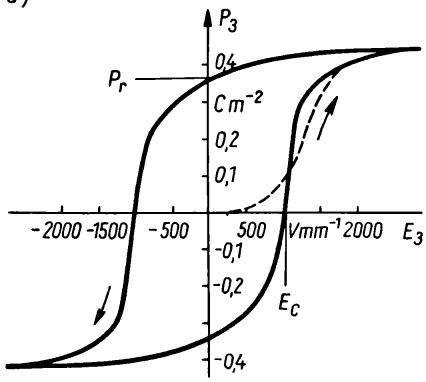
Spontane Polarisation und das Auftreten von Domänen bedeutet im kristallographischen Sinne eine Phasenumwandlung in eine polare Kristallklasse.

(Die Wortbildung F. soll andeuten, daß diese Stoffe im elektrischen Feld ein ähnliches Verhalten zeigen wie die Ferromagnetika* im Magnetfeld.) [174, 239, 328, 329, 331]

Ferromagnetika – *eine Gruppe von Stoffen* (Fe, Co, Ni, Gd, auch eine Anzahl Legierungen aus nichtferromagnetischen Elementen, z. B. $ZrZn_2$), *die die ferromagnetische Ordnung aufweisen.*



a)



b)

a) Ferroelektrische Domänen *Pr* Remanenzpol, P_s Sättigungspol
b) Ferroelektrische Hystereseschleife

Die ferromagnetische Ordnung ist charakterisiert durch Parallelstellung der atomaren magnetischen Momente und damit durch die Existenz einer spontanen Magnetisierung. Mit wachsendem äußerem Magnetfeld erreicht sie einen Grenzwert, die sog. Sättigungsmagnetisierung. Die Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld wird durch eine Hysteresekurve beschrieben (s. Ferrite*). Oberhalb der *Curie*temperatur* verschwindet die Sättigungsmagnetisierung, d. h., die Stoffe gehen in den paramagnetischen Zustand über.

s. Magnetismus.

Festigkeit, theoretische – *s.* Trennfestigkeit, theoretische

Festigkeitsprüfungen, mechanische – *Verfahren zur Messung des Widerstandes, den die Körper mechanischer Beanspruchung entgegensetzen*, mit dem Ziel, Aussagen über zulässige mechanische Belastungen der Werkstoffe zu gewinnen. Zweckmäßig sind zu unterscheiden:

1) konventionelle F.

Dazu zählen die standardisierten Prüfungen der Zugfestigkeit*, der Biegefestigkeit*, der Druckfestigkeit*, der spezifischen Schlagbiegebrucharbeit* und die unter bestimmten Bedingungen brauchbaren nichtstandardisierten Prüfungen, wie Vierpunktprüfung und Spaltzugprüfung* (Diametraldruckprüfung). Die bei der Durchführung der konventionellen F. erhaltenen Werte sind keine reinen Werkstoffkennwerte, weil sie von der Einhaltung bestimmter vorgeschriebener Versuchsbedingungen abhängig sind. Insbesondere haben Einfluß auf die gemessenen Werte: Probenvolumen, Probengeometrie, Belastungsgeometrie und Belastungsgeschwindigkeit. Die gemessenen Werte können somit nur zum Vergleich verschiedener Werkstoffe untereinander und zur Kontrolle der Einhaltung der standardisierten Werkstoffqualität über größere Produktionszeiträume dienen. Eine direkte Übertragung auf die Festigkeit von Erzeugnissen ist nicht möglich (s. Härte).

2) neuere Methoden der F.

Um über vergleichende Messungen hinaus Werkstoffkennwerte zu erhalten, muß die charakteristische Fehlerstruktur der keramischen Werkstoffe (Mikorisse, Poren, Korngrenzen, Einschlüsse) mit erfaßt werden. Dies ist möglich durch:

- Annahme einer statistischen Verteilung von Fehlern und Beschreibung der Festigkeit über eine angemessene Verteilungsfunktion (z. B. *Weibull*-Verteilung*, Normalverteilung* u. a.),
- Beschreibung einer einzelnen bruchauslösenden Defektstelle mit Hilfe der linear elastischen Bruchmechanik*,
- Beschreibung des Festigkeitsverhaltens über die geleistete Brucharbeit.

[94, 260, 353 bis 355]

Festigkeitsverhalten, statistisches – Die Festigkeit keramischer Werkstoffe bzw. Erzeugnisse ist allgemein eine statistisch verteilte Größe. Die Ursachen für die Streuung der Festigkeitswerte sind einerseits in der Inhomogenität des keramischen Werkstoffes, verbunden mit der charakteristischen Sprödigkeit*, und andererseits in der Empfindlichkeit der mehrstufigen keramischen Technologie zu suchen.
Zur Charakterisierung des s. F. werden die *Gauß*sche Normalverteilung

$$S = \frac{1}{\sqrt{2\pi s^2}} \int_{\infty}^{\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2s^2}} \, dt$$

oder die *Weibull*-Verteilung

$$S = 1 - e^{-\left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m}$$

S Bruchwahrscheinlichkeit bzw. Summenhäufigkeit
σ mechanische Beanspruchung
t Wert der Zufallsvariablen
μ Erwartungswert der Normalverteilung (μ = arithmetischer Mittelwert der Meßreihe)
s^2 Streuung der Normalverteilung (s = Standardabweichung der Meßreihe)
σ_0 Niveauparameter der *Weibull*-Verteilung
m Streuungsparameter der *Weibull*-Verteilung
σ_u untere Festigkeitsgrenze bei der *Weibull*-Verteilung

verwendet.
Zur Ermittlung der statistischen Parameter aus Meßreihen existieren für beide Verteilungen geeignete Hilfsmittel (z.B. Minilot, *Schäfers* Feinpapier, Plauen, Best.-Nr. 500 für Wahrscheinlichkeitsnetz, Best.-Nr. 687 für Extremwertverteilung nach *Weibull*).
Nach vorliegenden Erfahrungen [94] können Festigkeitswerte von keramischen Werkstoffproben, die eine technologisch einheitliche Charge darstellen, im allg. gut durch eine *Weibull*-Verteilung dargestellt werden, während sich für die Wiedergabe der Festigkeitsverteilung von Erzeugnissen mit komplexer technologischer Beeinflussung oft eine Normalverteilung besser eignet.
Die Streuungsparameter für die Festigkeit keramischer Werkstoffe bzw. Erzeugnisse bewegen sich allgemein in folgenden Bereichen:

$0{,}03\,\mu \leqq s \leqq 0{,}2\,\mu$ für die Normalverteilung,
$40 \geqq m \geqq 6$ für die *Weibull*-Verteilung.

Eine exakte Umrechnung der *Weibull*-Parameter in die Parameter der Normalverteilung bzw. umgekehrt ist wegen der unterschiedlichen Verteilungsformen nicht möglich. In dem für keramische Werkstoffe interessierenden Bereich gilt bei Verwendung der 2-parametrigen *Weibull*-Verteilung (d. h. $\sigma_u = 0$) näherungsweise folgende Umrechnung:

$\mu \approx (0{,}01 \ldots 0{,}04)\,\sigma_0$
$s/\mu \approx (1{,}15 \ldots 1{,}20)\,1/m.$

[536 bis 538]
s. Weibull-Theorie, Dauerfestigkeit, *Proof*-Test

Festkörper – *kondensierte Zustandsform der Materie, bei der die Bausteine (Atome, Ionen, Moleküle) durch Bindungskräfte in bestimmten Lagen festgehalten werden.* Im Gegensatz zu Flüssigkeiten ist der F. durch Formbeständigkeit ausgezeichnet. Der ideale F. in Form eines Einkristalls mit vollkommen regelmäßig angeordnetem Gitter von atomaren oder molekularen Bausteinen kommt nicht vor, der reale F. ist immer durch verschiedene Fehler gekennzeichnet; einmal weist er eine Schollen- oder Mosaikstruktur auf, wobei nur kleinste Bezirke als Einkristalle vorliegen, zum anderen sind auch diese kleinsten Bezirke durch Fehlordnungen* gestört. Gerade diese Fehler sind zur Deutung vieler kinetischer Vorgänge wichtig, auf ihnen beruhen u. a. die chemischen Festkörperreaktionen* und die Ionenleitfähigkeit der Festelektrolyte*. Die Elektronenleitung der F. wird durch das Bändermodell* erklärt. Bei Einwirkung elektrischer und magnetischer Felder werden solche Erscheinungen, wie Piezoelektrizität*, Ferroelektrizität*, Supraleitung u. a. beobachtet. Mit dem Feinbau und dem anisotropen Verhalten der F. beschäftigt sich ein Zweig der Physik, die sog. *Festkörperphysik*.
Vom F. zu unterscheiden ist der starre Körper, dem absolute Form- und Volumenbeständigkeit zugeschrieben werden. Dieser Idealfall spielt in der Mechanik eine wichtige Rolle, wenn von den elastischen und plastischen Eigenschaften abgesehen wird. [4, 8, 66, 117, 145, 160]
s. Kristall, Magnetismus

Festkörper, ungeordnete – *aus den Werkstoffwissenschaften hervorgegangener Begriff für formbeständige Materie, die im Gegensatz zum kristallinen Zustand keine Fernordnung aufweist.* Bei geeigneter Wahl der Zusammensetzung und insbesondere einer Schnellabkühlung (10^3 bis 10^8 K s^{-1}) entste-

hen Zustände, die aus struktureller Sicht als weitgehend ungeordnet und aus thermodynamischer Sicht als metastabil zu bezeichnen sind. Die Unordnung kann klassifiziert werden:

1) kompositionelle (substitutionelle, zellare) Unordnung

Die unterschiedlichen Atome sind streng periodisch angeordnet, die individuelle Verteilung der verschiedenen Atomarten jedoch willkürlich (Mischkristalle*).

2) topologische* (strukturelle, positionelle) Unordnung

Die periodische Anordnung der Atome ist nicht mehr gegeben (Amorphisierung*, Glas*, stark dotierte* Halbleiter).

3) Unordnung der magnetischen Momente, wie sie in kristallinen Festkörpern oberhalb der magnetischen Ordnungstemperatur auftritt.

Gelegentlich wird auch von *elektrischer Unordnung* gesprochen. Man versteht darunter angeregte Atome, die eine Ungleichheit in den elektronischen Zuständen der Atome des betrachteten Systems bewirken.

Vertreter von u. F. sind u. a. die sog. metallischen Gläser, z. B. $Fe_{80}P_{17}C_7$; $Fe_{80}B_{20}$, die sich durch hohe mechanische Festigkeiten, besondere magnetische Kennwerte und extreme Korrosionsfestigkeit auszeichnen. [95]

Festkörperelektrolyte – *Gruppe von Kristallen, die ähnlich der Kationen- und Anionenleitung in flüssigen Elektrolyten* zu einer Ionenleitung befähigt sind.*

Die elektrischen Eigenschaften der F. werden in hohem Maße von Wirtssystem sowie Art und Konzentration der verwendeten Dotierungen bestimmt; z. B. beruht die ionische Leitfähigkeit bei Kristallen mit Fluoritstruktur* auf der Bewegung der Sauerstoffionen durch das Gitter, dabei hängt der Ionentransport von der Sprungwahrscheinlichkeit eines Sauerstoffions in eine benachbarte Leerstelle ab.

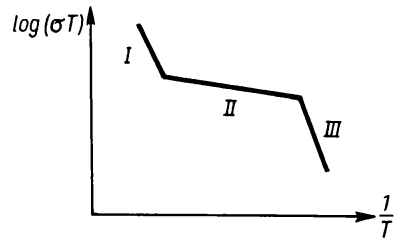
Wie alle temperaturaktivierten Vorgänge kann diese Leitfähigkeit durch die Gleichung

$$\sigma_i T = c_i \exp(-E_i/kT)$$

σ_i ionische Leitfähigkeit
E_i Aktivierungsenergie der Ionenleitung
k *Boltzmann*-Konstante
T absolute Temperatur
c_i Proexponentialfaktor

beschrieben werden.

Bei vielen Ionenkristallen werden verschiedene Temperaturbereiche mit einheitlichem Leitungsvorgang beobachtet (s. Diagramm).



Schematische *T*-Abhängigkeit der Ionenleitfähigkeit als *Arrhenius*plot

Es lassen sich folgende drei Bereiche unterscheiden:

I: Bei hohen Temperaturen herrscht Eigenleitung durch Bildung von intrinsischen* Defekten vor; z. B. sind dies bei CeO_2 *Frenkel*-Defekte* mit Bildungsenergien von etwa 2,5 eV.

II: Die extrinsische Leitfähigkeit wird durch die Bewegung einer konstanten Anzahl von geladenen Gitterdefekten (bei Sauerstoffionenleitern durch Sauerstoffleerstellen) verursacht, die durch Verunreinigungen oder Dotierungen eingebracht werden.

III: Bei tieferen Temperaturen wird die Konzentration an freibeweglichen Ladungsträgern (Sauerstoffleerstellen) durch die Bildung von assoziierten Defektpaaren erniedrigt. Für die Leitfähigkeit ergibt sich damit eine höhere Aktivierungsenergie, die sich aus der Bildungsenergie der Defektpaare und der unter *II* beschriebenen Aktivierungsenergie der Ionenbewegung zusammensetzt.

Keramische F. sind:

1) Kationenleiter
- β-$Al_2O_3(Na_2O \cdot 11\,Al_2O_3)$*, auch mit Zusätzen von Li_2O
- $NaZrSi_xP_{3-x}O_{12}$, $Na_5GdSi_4O_{12}$

2) Anionenleiter
- Werkstoffe mit Fluoritstruktur ThO_2*, CeO_2*, La_2O_3*, Bi_2O_3*, CaO-, MgO- und Y_2O_3 – stabilisiertes ZrO_2*
- $LiNbO_3$ (schnell abgekühlt), CaF_2*, LaF_3, $PbCl_2$, AgJ.

Anwendungen
- Kationenleiter als semipermeables Trennmaterial in Batteriesystemen mit hoher Energiedichte (Na/S-Akkumulator) in Form dünnwandiger Rohre aus β-Al_2O_3-Keramik,

- Anionenleiter als Sonden zur Messung des O_2-Gehaltes in Rauchgasen, Metallschmelzen u. a.

[23, 123, 293]

s. Rauchgassonde

Festkörperreaktionen – *Reaktionen, bei denen mindestens eine feste Phase am Reaktionsgeschehen beteiligt ist.* Der von *W. Kleber* vorgeschlagene Begriff *Kristallreaktion** sollte nur in den Fällen verwendet werden, wenn besondere geometrische Zusammenhänge zwischen Kristallstruktur und Reaktivität bestehen. F. sind eng mit Sinterung verbunden. Sowohl bei der Sinterung als auch bei F. spielen Diffusionsprozesse eine wesentliche Rolle; bei beiden sind Schwelltemperaturen und Aktivierungsenergien erforderlich.

Systematik der F.

- Reaktionen mit einer festen Ausgangsphase (z. B. Phasenumwandlungen, Entwässerung von Hydroxiden, Hydraten u. a.),
- Reaktionen mit zwei Ausgangsphasen (davon eine feste); von den fest-gasförmig-Reaktionen sind hier die Oxydationsreaktionen (Anlauf-, Zundervorgänge) anzuführen. Bei Reaktionen mit einer flüssigen Phase sind Hydratation*, Korrosion* und Auflösungsvorgänge zu nennen.
- Reaktionen mit zwei festen Ausgangsphasen; hierzu zählen:
  - additive Oxidreaktionen, z. B. $CoO + Al_2O_3 \rightarrow CoAl_2O_4$, die den meisten silicatischen Reaktionen zugrunde liegen,
  - Austauschreaktionen, z. B. $BaO + CaSO_4 \rightarrow BaSO_4 + CaO$.
- Reaktionen mit mehr als zwei Ausgangsphasen; diese sind im allg. schwer überschaubar.

Voraussetzungen für F.

Das Ablaufen von F. wird möglich, wenn

- eine chemische Affinität der Reaktionspartner vorhanden ist; sie äußert sich in einer negativen Bildungsenthalpie* ΔG_T^0,
- ein guter Kontakt der Reaktanden gegeben ist; im allg. beträgt die Kontaktfläche der Festkörper nur den 10^{-6}ten Teil der gesamten Oberfläche,
- die Diffusion nicht gehemmt wird, d. h., die Reaktanden dürfen keine Diffusionssperren aufbauen,
- eine Temperaturerhöhung genügend Wärmeenergie (Aktivierungsenergie) bereitstellt, die für die Diffusion erforderlich ist.

Reaktionsmechanismen

Je nach Beweglichkeit der Gitterbausteine und Temperaturhöhe können bei F. folgende Abschnitte unterschieden werden (nach *Petzold*):

- gegenseitige Attraktion der Bausteine,
- Bildung lockerer Adsorptionsverbindungen,
- Bildung erster stöchiometrischer Verbindungen ohne Kristallordnung mit großer innerer Oberfläche und hoher Reaktivität infolge einsetzender Oberflächendiffusion,
- weitere Diffusion und kontinuierliche Verbindungsbildung mit zunehmender Ordnung und Rekristallisation.

Bei vielen technischen Umsetzungen laufen komplizierte Prozesse ab, wobei sich oft instabile Zwischenstadien bilden. Günstig wirkt sich auf den Umsetzungsprozeß eine mechanische Aktivierung der Ausgangsgemische, etwa durch Schwingmahlung, aus (s. Tribochemie).

Bei silicatischen Reaktionen beobachtet man sehr oft die sogenannte Topotaxie*.

Feston – *geschwungener Rand* an Flachgeschirrteilen, Schüsseln oder Bechern, der in regelmäßigen oder rhythmischen Abständen vorliegt (s. Bild). [225]

Feuchte (Feuchtigkeit) – *Maß für den Wasser- bzw. Wasserdampfanteil in Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen.* Zur näheren Kennzeichnung unterscheidet man:

1) bei *Feststoffen* und *Flüssigkeiten*

Die prozentuale F. ist das Verhältnis der Massedifferenz vor und nach dem Trocknen zur Masse vor dem Trocknen, multipliziert mit 100.

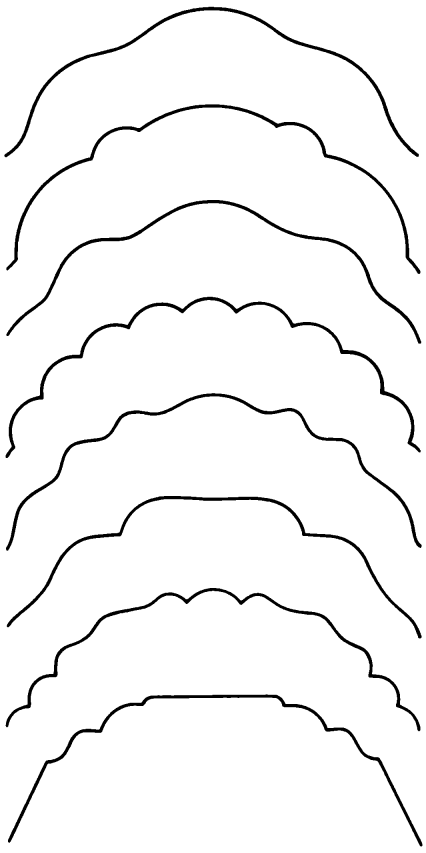
2) bei *Gasen*

- *absolute F.* – Dampfmenge in g in 1 m^3 feuchter Luft,
- *relative F.* φ – Verhältnis der absoluten F. zur Sättigungsfeuchtigkeit bei der jeweiligen Temperatur (Sind p und p_s die Partialdrücke des Wasserdampfes, so gilt: $\varphi = p/p_s = f/f_s$; f Feuchtigkeitsmenge in g im Meßzustand des Gases je m^3, f_s Feuchtigkeitsmenge in g im Sättigungszustand),
- *spezifische F.* φ_s – Wasserdampfmenge in g, die in 1 kg feuchter Luft enthalten ist:

$$\varphi_s = \varphi_D/(\varphi_D + \varphi_G)$$

φ_D Dichte des Dampfes, φ_G Dichte des Gases;

- Mischungsverhältnis x – Wasserdampfmenge, die in 1 kg trockener Luft enthalten ist,



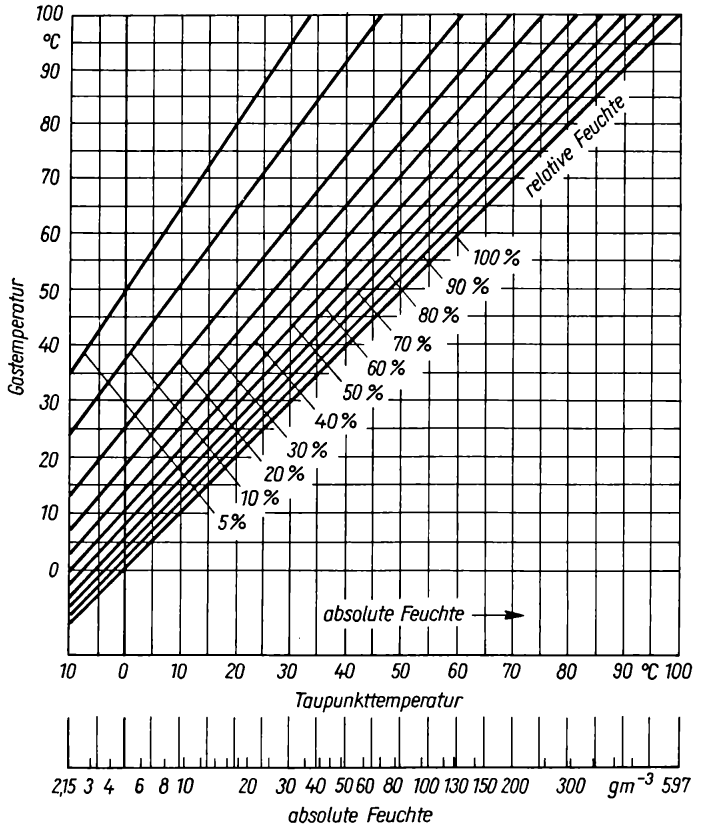
Beispiele für Feston

- Taupunkt – Temperatur, deren Sattdampfdruck (Sättigungsfeuchtigkeit) gleich dem Teildampfdruck des Gemisches ist, d. h., bei weiterer Abkühlung scheidet sich das erste Wasser bzw. Eis ab. (s. Bild S. 146)

Feuchtemessung – Es ist zu unterteilen in:
1) Erfassung der Feuchte an festen Stoffen, s. Oberflächenfeuchtigkeit, Trocknung, *Bourry*-Diagramm, *Bigot*-Kurve,
2) Verfahren zur Bestimmung der Feuchte in Gasen, speziell in Luft. Es gibt kein allgemein nutzbares Verfahren bzw. Gerät, das eine schnelle und leichte Bedienbarkeit, niedrige Fehlerquote, kleine Zeitkonstante und geringen Wartungsaufwand in sich vereint. Es sind gebräuchlich:
- direkte Verfahren, wie
  - Taupunkt-Hygrometer zur Taupunktmessung,
  - Lithium-Taupunkt-Hygrometer (beide Verfahren nutzen die Sättigung mit Wasserdampf),
  - Absorptions-Hygrometer (Bestimmung der absorbierten Wassermenge),
- indirekte Verfahren, wie
  - Psychrometer (Messung der durch Verdunstung bewirkten Abkühlung),
  - gravimetrische Hygrometer (Messung der Masseänderung),
  - Haarhygrometer (Messung der Längenänderung von Haaren),
  - Kohlenstoffschicht-Hygrometer (Messung der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit),
  - elektrolytisches Hygrometer (Messung der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit),
  - kapazitives Hygrometer (Messung der dielektrischen Eigenschaften),
  - Farb-Hygrometer (Messung der Farbänderung),
  - Infrarot-Hygrometer (Messung der Absorptionsänderung der Infrarotstrahlung),
  - Mikrowellen-Hygrometer (Messung der dielektrischen Eigenschaften),
  - Diffusions-Hygrometer (Messung der Druckdifferenzen infolge verschiedener Diffusionsgeschwindigkeiten),
  - Entladungs-Hygrometer (Messung der Änderung der Ionisierbarkeit).

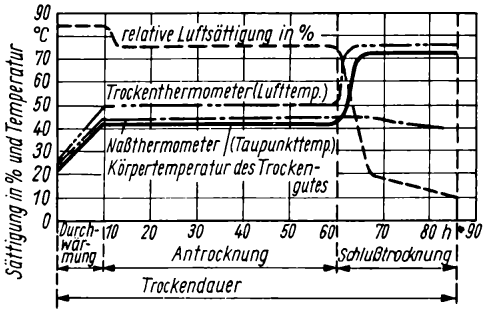
Feuchtesensoren – *poröse keramische Halbleiter*, bei denen die Adsorption* von Wasserdampf aus der Luft zu Veränderungen der Oberflächenleitfähigkeit bzw. der Dielektrizitätskonstanten führt.* Nach dem Prinzip der veränderten Oberflächenleitfähigkeit arbeiten z. B. die Werkstoffsysteme $MgCr_2O_4$–TiO_2; ZnO–Cr_2O_3–Li_2O unter Verwendung von Goldelektroden. Nach dem Prinzip der Kapazitätsänderung arbeitet z. B. RuO_2 unter Verwendung von Pt-Ir-Elektroden. [174, 371]

Feuchtigkeitsdehnung – *Längenänderung poröser keramischer Stoffe in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der Umgebung und Zeit.* F. wird besonders bei Steingut und Ziegeln beobachtet; sie äußert sich im Auftreten von Haarrissen. Alkalische Glasphase neigt stärker zur F. als Erdalkaliglasphase. Allgemein gilt: je chemisch widerstandsfähiger der Scherben ist, um so weniger neigt er zur F. Untersuchungen im Autoklaven liefern andere Werte als Langzeitversuche in feuchter Atmosphäre.



Beziehungen zwischen absoluter Feuchte, relativer Feuchte und Temperatur

Feuchtlufttrocknung – *Trocknungsverfahren für große keramische Stücke, das mit gesteuerter Luftfeuchte arbeitet.* Es zeichnet sich durch die im Bild gezeigten Perioden aus.



Verlauf von Temperatur und Feuchtigkeit in einer Trokkenanlage nach dem »Feuchtluftverfahren« (aus *Salmang*)

1) Der Formling wird bei hoher Luftfeuchte und mittlerer Temperatur erwärmt.

2) Die Luftfeuchte wird etwas herabgesetzt, der Formling angetrocknet und schließlich das Schwindungswasser ausgetrocknet.

3) Die Trocknung wird forciert, d. h., die Luftfeuchte wird stark herabgesetzt und die Temperatur im Trockenraum gesteigert.

Feuchtpressen – *Preßverfahren, das mit Massen von 18 bis 24 % Feuchte arbeitet.* Die Masse wird reichlich auf die Form gegeben und der Überschuß abgequetscht. Der Preßdruck ist durch den Feuchtigkeitsgehalt der Masse gegeben.

s. Pressen

Feuerbeton – *Gruppe von hitzebeständigen, feuerfesten und hochfeuerfesten Baustoffen,* die nach der Betontechnologie hergestellt und im nichtgebrannten Zustand zur Zustellung* von Industrieöfen eingesetzt werden.

TGL 27 397/01 systematisiert F. nach:

- Art des Erzeugnisses (Fertigteile, Gemenge, spritzfähige Gemenge, Mörtel),
- Klassifizierungstemperatur (hitzebeständige, feuerfeste, hochfeuerfeste),
- Zuschlagstoffen (SiO_2-reiche, mittlerer Al_2O_3-Gehalt, Al_2O_3-reich, Forsterit, Chromerz, Periklas),
- Rohdichtegruppen (Leichtbeton 0,4 bis 1,6 g cm^{-3}, Normalbeton 1,6 bis 2,0 g cm^{-3}, Schwerbeton 2,6 bis 2,8 g cm^{-3}),
- Bindemittel (hydraulisch: Portlandzement*, Tonerdeschmelzzement u. a.; chemisch: Wasserglas, Spezialbinder, Phosphat u. a.; sie sind die entscheidende Komponente, da sie am ehesten schmelzen und damit die Einsatztemperatur wesentlich bestimmen).

Die Technologie der F. ist analog der Technologie der Baubetone mit den Arbeitsschritten Mischen, Anfeuchten, Formen. Sie erhärten bei niederen Temperaturen. Neben Fertigteilen (Ofensegmente, ganze Ofenaggregate) werden auch Gemenge, d. h. trocken vorgemischte Betone, hergestellt, wodurch die Zustellung von hitzebeständigen/feuerfesten Auskleidungen monolithisch in Ortsbeton sowie die Anwendung von Spritzverfahren möglich wird. Die Spritztechnologie hat sich besonders bei durchzuführenden Reparaturen bewährt.

Die Betonversätze sind im allg. variabel; größenordnungsmäßig können für Schwerbeton 80 bis 90 Masse-% Zuschlagstoffe und 10 bis 20 Masse-% Bindemittel, für Leichtbeton 50 bis 80 Masse-% Zuschlagstoffe angenommen werden. Als Zuschlagstoffe kommen in Betracht: Quarzite*, Sande*, Schamotte*, Mullit*, Periklas*, Zirkon*, Chromerz* u. a. Während des Einsatzes im damit zugestellten Aggregat wandelt sich die bei niederen Temperaturen entstandene chemische oder hydraulische Bindung der F. in eine keramische Bindung um, dabei laufen im Bindemittel sowie zwischen Bindemittel und Zuschlagstoffen verschiedene Hochtemperaturreaktionen ab. Der Übergang zur keramischen Bindung wird gefördert, wenn mit erhöhten Anteilen an feinkörnigen Zuschlagstoffen gearbeitet wird; bei Verwendung von Portlandzement muß ein bestimmter Anteil an Zuschlagstoffen in Feinstvermahlung, sog. Mikrofüller, zur Bindung des freien CaO eingeführt werden (CaO entsteht bei der Hydratation und Dehydration* des Zements).

Durch die Einführung von F. als feuerfesten Baustoff wurde es einerseits möglich, den energetischen Aufwand beim Hersteller und Anwender zu senken, und zum anderen konnten durch Umstellung vom Mauern mit kleinen Steinformaten auf die Montage von Großblocksegmenten eine höhere Arbeitsproduktivität und verkürzte Zustellzeiten erreicht werden. Außerdem zeichnen sich F. durch geringe Deformation unter Belastung bei hohen Temperaturen, geringe Brennschwindung und hohe Korrosionsbeständigkeit aus.

Die Eigenschaften der F. sind im Blatt 2 und die verbindlichen Prüfungen im Blatt 7 der TGL 27 397 festgelegt. [168, 305, 306, 310]

Feuerbrücke – *meist auf ff. Steinen aufgemauerte, von Öffnungen durchbrochene Wand, die den Feuerraum vom eigentlichen Ofenraum trennt.* Die Flammengase werden durch die F. in den oberen Teil des Ofenraumes gelenkt und damit auch besser verteilt. F. bieten auch einen gewissen Schutz vor Flugasche.

s. Kasseler Ofen

Feuerfestauskleidung, monolithische – *s.* Zustellung, monolithische

Feuerfesterzeugnisse – *Sammelbezeichnung für keramische Halb- und Fertigprodukte (Massen, Baustoffe, Mörtel u. a.), die vorwiegend nach grobkeramischer Technologie gefertigt werden und deren Kegelfallpunkt oberhalb 1 580 °C liegt.*

F. werden in den verschiedensten Industrien überall dort eingesetzt, wo thermische Prozesse im Dauerbetrieb >1 000 °C ablaufen, als Abgrenzung eines heißen Ofenraumes gegen eine kalte Umgebung oder als Wärmeübertrager. Im Einsatz werden sie beansprucht:

- thermisch (hohe Temperaturen, Temperaturgradienten, *TWB**),
- mechanisch (stehende oder intermittierende Last),
- chemisch (Korrosion durch gasförmige, flüssige oder feste Stoffe bei gleichzeitiger Temperaturbelastung).

Die Versätze feuerfester Arbeitsmassen bestehen aus körnigen Stoffen (Rohschamotte*, Korund*, Quarzite*, SiC* u. a.) und Bindemitteln (Tone*, Kalkmilch u. a.). Die Verfestigung des Scherbens erfolgt durch hydraulisches/chemisches Abbinden bei niederen Temperaturen (Feuerbeton*) oder durch Sinterung*. Während des Sinterprozesses stellen sich folgende Bindungen ein (nach *J. Ulbricht*):

- keramische Bindung aus Sinterreaktion mit Teilschmelzen (glasig-kristallines Gefüge, Haftung von Bindephase/Korn),
- kristalline Bindungen aus Festkörperreaktionen (Bindephasen ohne Beteiligung von Teilschmelzen),
- Rekristallisations- und Reaktionsbindung (Bindung durch Kornwachstum, Verdampfungs-Kondensationsmechanismus).

Die Unterteilung der feuerfesten Baustoffe erfolgt vorrangig stoffbezogen. Innerhalb dieser Gruppen ergeben sich weitere Unterscheidungsmöglichkeiten durch die jeweilige Herstellungstechnologie, die sich vor allem in der Gefügeausbildung widerspiegelt. Für einige spezielle Baustoffe, wie z. B. schmelzgegossene oder wärmedämmende, gilt die Herstellungstechnologie als primäres Einteilungsprinzip. TGL 9397 klassifiziert:

- Werkstoffe mit vorwiegend oxidischer Grundmasse,
  - sauer: Silica*, Zirconiumdioxid*,
  - basisch: Periklas, Sinterdolomit*, Periklas-Chromit*, Forsterit*, Spinell*,
  - neutral: Chromite*, Tonerde*,
- Werkstoffe mit vorwiegend silicatischer Grundmasse,
  - sauer: Quarzschamotte,
  - neutral: Korundschamotte,
- Werkstoffe mit überwiegendem Gehalt an nichtoxidischem Material, wie Graphit, SiC, Nitride, Boride u. a.

Nach der ISO-Empfehlung R 1109 ergibt sich folgende Klassifizierung:

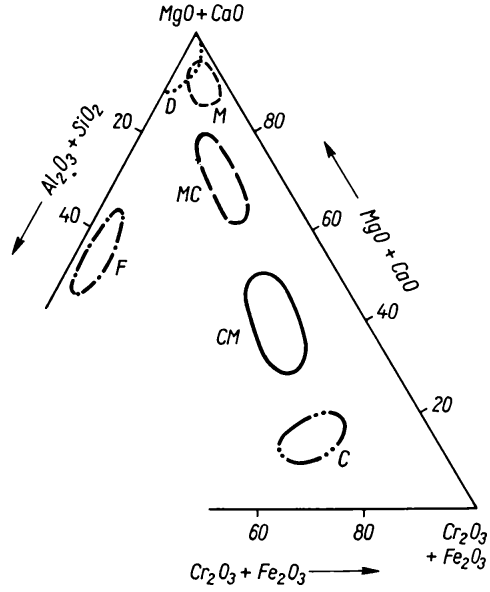
- tonerdereiche Massen,
  - Gruppe 1 (Al_2O_3 >56 %),
  - Gruppe 2 (Al_2O_3 45 bis 56 %),
- Schamotte (Al_2O_3 30 bis 45 %),
- saure Schamotte (Al_2O_3 10 bis 30 %, SiO_2 <85 %),
- Silica (SiO_2 >93 %),
- basische Materialien,
  - Periklas (MgO >80 %),
  - Chromit-Periklas (MgO 25 bis 55 %),
  - Chromit (Cr_2O_3 >25 %, MgO <25 %),
  - Forsterit,
  - Dolomit,
- Sonderwerkstoffe,
  - auf Basis von: Kohlenstoff, Spinell, SiC, $ZrSiO_4$, Carbide, Nitride, Boride,
  - auf Basis reiner Oxide (Al_2O_3, MgO u. a.) und hohem Reinheitsgrad.

[110, 133, 144, 168, 309]

Feuerfesterzeugnisse, basische – *Sammelbezeichnung für Baustoffe und Massen, bei denen die Summe von MgO + CaO + Cr_2O_3 gegenüber den anderen Komponenten (in oxidischer Schreibweise) überwiegt.* Dazu zählen Sinterdolomit* (D), Periklas* (M = Magnesia), Periklas-Chromit (MC), Chromit-Periklas (CM), Chromit (C) und Forsterit* (F). Die in Klammern gesetzten Buchstaben stellen technische Abkürzungen dar, die in die Standards eingegangen sind (TGL 23 161, Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 913 des Vereins deutscher Eisenhüttenleute). Die ungefähre Zusammensetzung dieser Gruppen gibt das Dreistoffsystem

$$(MgO + CaO) - (Al_2O_3 + SiO_2) - (Fe_2O_3 + Cr_2O_3)$$

wieder (s. Bild).



Lage der basischen Feuerfestmaterialien im System $(MgO + CaO) - (Al_2O_3 + SiO_2) - (Fe_2O_3 + Cr_2O_3)$

D	Dolomit	CM	Chromit-Periklas
M	Periklas (Magnesia)	C	Chromit
MC	Periklas-Chromit	F	Forsterit

Chromerz- und Forsteritsteine sind neutral, werden aber zu den b. F. gezählt. Im Gegensatz zu den Schamottesteinen* enthalten b. F. wenig Glasphase; Hauptverbraucher ist die stahlerzeugende Industrie. [144, 133, 309]

Feuerfesterzeugnisse, hochtonerdehal-

tige – *Sammelbezeichnung für eine Gruppe keramischer Erzeugnisse, die mehr als 45 Masse-% Al_2O_3 enthält.*

H. F. zeichnen sich durch hohe Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen aus und werden in den verschiedensten feuerungstechnischen Anlagen für Hochtemperaturprozesse der Stahl-, Glas- und Keramikindustrie sowie anderer Industriezweige eingesetzt.

Für die Masseversätze werden entweder hochtonerdehaltige Rohstoffe, wie Bauxit*, Cyanit*, Sillimanit u. a., oder Halbfabrikate, wie Schieferschamotte*, Kaolinschamotte*, Mullitschamotte*, Schmelzkorund* u. a., herangezogen; als Bindemittel werden organische Binder oder Phosphatbinder eingesetzt.

Man unterscheidet:

- geformte h. F.; sie werden gewöhnlich nach dem Trocken- oder Halbtrockenpreßverfahren mit anschließendem Sintern oder als schmelzgegossene Feuerfesterzeugnisse* hergestellt (Korundsteine*, Bauxitsteine*, Leichtsteine auf der Basis von Hohlkugelkorund* u. a.),
- ungeformte h. F.; dazu zählen die Feuerbetone*, Stampfmassen (s. Stampfen*), feuerfeste Mörtel*, Plastics* u. a.

H. F. sind in TGL 27792 bzw. ISO 1109 Gruppen 1 und 2 standardisiert. [124, 133, 144, 168, 310]

Feuerfesterzeugnisse, reaktionsthermische – *Feuerfesterzeugnisse, die durch exotherm verlaufende Festkörperreaktionen gewonnen werden.*

Das Verfahren zur Herstellung r. F. nutzt die Oxydation von Metallen, wobei der Sauerstoff von einem edleren Metall zu einem unedlen übergeht, z. B. $Cr_2O_3 + Mg$, $Cr_2O_3 + Al$ u. a. Da diese Reaktionen erst bei höheren Temperaturen ablaufen, bedarf es einer Initialzündung. Mit Hilfe von Katalysatoren kann die Reaktionstemperatur herabgesetzt und durch Zugabe von Ballaststoffen (meist Oxide, die bei der Reaktion selbst entstehen) die Reaktionsgeschwindigkeit gemindert werden.

Die Gewinnung von r. F. ist wegen der hohen Preise der Rohstoffe nur auf Sonderfälle beschränkt.

Feuerfesterzeugnisse, schmelzgegossene – *feuerfeste Gußkörper, die nach einer Schmelztechnologie hergestellt werden.*

Die meist synthetischen Rohstoffe werden im Lichtbogen- bzw. Widerstandsofen geschmolzen, wobei die gute elektrische Leitfähigkeit geschmolzener Oxide genutzt wird. Als Ofenfutter dient dabei die außen erstarrte Schmelze. Der Abguß erfolgt in Formen aus Graphit, Stahlguß, Grauguß u. a., wobei die Bildung von Gießlunkern u. a. durch Einlegen bereits erstarrter Schmelzanteile in die Formen weitgehend unterdrückt werden kann. Die Gefügeausbildung ist in hohem Maße abhängig von der Temperatur der Schmelze, der Abkühlungsgeschwindigkeit (4 bis 12 Tage) und der Wärmekapazität der Formen.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der geringen Porosität der Gußkörper: die offene Porosität ist praktisch Null. Demzufolge besitzen diese Erzeugnisse eine gute Korrosionsbeständigkeit.

Ursprünglich wurden nach obiger Technologie nur Mullitsteine* hergestellt; in den letzten Jahren kamen die jetzt üblichen Korund-Baddeleyit-Steine hinzu, die als weitere wesentliche Komponente ZrO_2 enthalten und durch die immer mit vorhandenen Alkalien einen deutlichen Anteil von Glasphase aufweisen (s. Bild S. 150). Weiterhin werden nach diesem Verfahren die verschiedensten Formen schmelzflüssig gegossener Tonerdewerkstoffe* hergestellt, von welchen besonders β-Al_2O_3 ein interessantes Produkt darstellt: es ist sehr beständig gegen Alkalidämpfe, neigt aber umgekehrt in alkalifreier Atmosphäre zur Abgabe von Alkalien und geht in α-Al_2O_3 über (Schwindung!). [124, 133, 168]

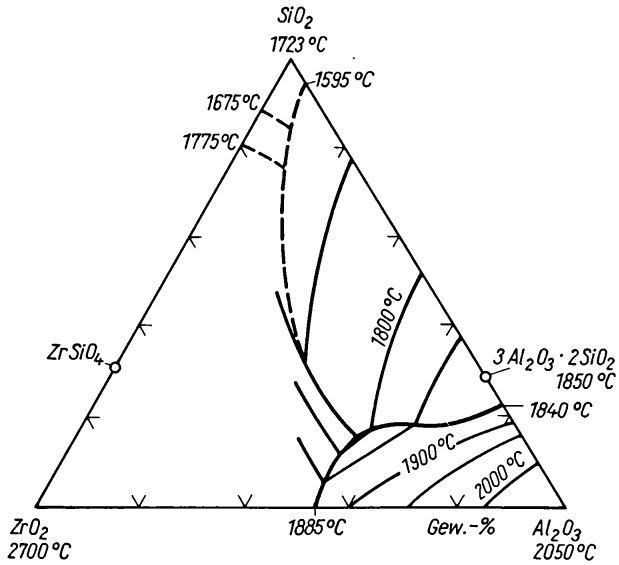
Feuerfesterzeugnisse, ungeformte – *zusammenfassende Bezeichnung für alle Feuerfesterzeugnisse, die aus einem Gemenge von feuerfesten Rohstoffen und Bindemitteln bestehen und ihre Formgebung und Temperaturbehandlung erst am Einsatzort erfahren.*

Die chemische/mineralische Zusammensetzung u. F. ist im Prinzip gleich der feuerfest geformter Steine. Die Unterteilung erfolgt gewöhnlich nach dem Verwendungszweck, so z. B. kennt man u. F.

- für monolithische Zustellungen*,
- für Oberflächenschutz*,
- zum Verfugen (Feuerkitt*, Feuermörtel*).

Ein weiteres wichtiges Kriterium für u. F. ist ihre Bindungsart (s. Tabelle S. 150).

Aus dieser Aufstellung ist abzuleiten, daß letztlich – genau wie bei feuerfesten Steinen – immer



System $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$ nach *Budnikow* und *Livatkovskii*

eine keramische Bindung durch Sinterung* eintritt. Zwischen dem Abbau der primären Bindung und dem Übergang zur keramischen Bindung weisen die Baustoffe einen Bereich verminderter Festigkeit aus; neuere Entwicklungen suchen diesen Bereich zu umgehen bzw. einzuengen.

Bemerkungen zu den Bindungsarten

- Keramische Bindung wird meist durch Zusätze von Bindeton angestrebt; eine bereits bei niederen Temperaturen einsetzende keramische Bindung bedingt jedoch auch niedrige Einsatztemperaturen der Werkstoffe.
- Hydraulische Bindung wird durch Zugabe von Zement (CaO-, SiO_2- und Al_2O_3-Verbindungen) erreicht; die Mischungen erhärten durch Wasserzugabe bei Raumtemperatur unter Bildung wasserhaltiger Minerale. Portlandzement dehydratisiert zwischen 500 bis 600 °C und verliert erheblich an Festigkeit. Tonerde- und Tonerdeschmelzzemente gewinnen ihre Festigkeit durch Bildung von $Al(OH)_3$ und Ca-reichen Hydroaluminaten, verlieren beim Aufheizen ebenfalls durch Dehydratation an Festigkeit, jedoch geht der Festigkeitsverlust mit steigendem Al_2O_3-Gehalt merklich zurück.
- Organische Bindung wird durch Sulfitablauge*, Teer, Pech u. a. erreicht; diese brennen jedoch beim Aufheizen frühzeitig aus, so daß eine rela-

Bindungsarten und Temperaturbereich der Wirksamkeit bei ungeformten Erzeugnissen nach *Gelsdorf* und *Schellberg*

Bindungsart	Temperatur der Wirksamkeit		
	Beginn in °C	Ende in °C	Zustand nach Ende
keramisch	1000	1200...1500	–
hydraulisch	20	500... 600	>1000 °C keramisch
organ.-chemisch	50	250	>1000 °C keramisch
anorg.-chemisch	200...250	1000...1450	>1000 °C keramisch
anorg.-organ.-chemisch	50	1000...1450	>1000 °C keramisch

tiv große Festigkeitslücke entsteht. Daher werden organische Binder meist mit anorganischen kombiniert.
- Chemische Bindung wird durch Zugabe von Aluminiumphosphat, Alkaliphosphat, Phosphorsäuren und Wasserglas erhalten; diese Bindungen bleiben bis zu relativ hohen Temperaturen bestehen.

U.F. gewinnen immer mehr an Bedeutung: einmal entfallen gesonderte Kosten für Formgebung und Sinterung, zum anderen zeichnen sie sich bei Verarbeitung und Einbau durch einfache Handhabung aus.
[124, 133, 144, 168, 310, 312]

Feuerfesterzeugnisse, wärmedämmende – *keramische Produkte, die entweder aufgrund der Herstellungsverfahren oder aufgrund der Rohstoffeigenschaften eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und ein geringes Wärmespeichervermögen besitzen.*

Die Eigenschaften der w.F. sind abhängig vom Porengefüge. Liegen die Anwendungstemperaturen der w.F. über 1 000 °C, spricht man allgemein von Feuerleichtsteinen*, bei Einsatztemperaturen unter 1 000 °C von Isoliersteinen*, d.h., es werden zu den w. F. auch Werkstoffe gezählt, die eigentlich nicht als feuerfest anzusprechen sind.

Der gegenüber dichten Feuerfesterzeugnissen* erhöhte Porenraum wird erreicht durch:

- Verwendung poröser Ausgangsstoffe (Kieselgur*, Blähton*, Vermiculit*, Hohlkugelkorund*),
- Zugabe von ausbrennenden oder verdampfenden Stoffen (Sägespäne, Kohlenstaub, Naphthalin, gekörnte Kunststoffe u. a.),
- Erzeugen von Schaum durch Einblasen von Druckluft in den Schlicker* bei Anwesenheit von Schaumbildnern (Saponin, Spellin, Kollophoniumseife u. a.),
- Zugabe von gastreibenden Mitteln, die durch chemische Reaktionen Gase freisetzen und damit zur Porenbildung beitragen. Die Gasbildung erfolgt während der Trocknung in den mit Schlicker nur bis zur Hälfte gefüllten Formen. Die Eigenschaften sind ähnlich denen der geschäumten w. F.

Bei der Herstellung von w.F. ist eine Anzahl Besonderheiten zu beachten (nach *J. Ulbricht*):
- poröse Zuschlagstoffe können bei Anwendung hoher Formdrücke zerdrückt werden,
- Ausbrennstoffe, wie z.B. Sägemehl, verursachen beim Pressen starke elastische Rückfederung,
- Verbrennen der Ausbrennstoffe bedingt eine hohe zusätzliche Energiezufuhr bei der Sinterung* und kann zu unkontrollierbaren Temperaturerhöhungen führen,
- in Blechformen gegossene Schäume müssen schnell getrocknet werden, um ein Zusammenfallen zu vermeiden,
- die in den w.F. enthaltenen Hohlräume wirken auch beim keramischen Brand isolierend; dieser Umstand muß beim Aufstellen der Brennkurve* beachtet werden.

W.F. werden aus Gründen der Energieeinsparung weltweit bei der Zustellung* von Hochtemperaturanlagen eingesetzt. Optimale energetische und ökonomische Verhältnisse werden erreicht, wenn die Einheit von w. F., Konstruktion und Zustelltechnik beachtet wird. Ein solches Vorgehen führt dann meist zu Ofenwänden, die aus Schichten unterschiedlicher Wärmedämmstoffe aufgebaut sind.

W. F. können als Formerzeugnisse, Körnungen oder Fasern* verwendet werden. [110, 314 bis 316]

s. Feuerleichtbeton

Feuerfestigkeit (Kegelfallpunkt) – *Maß für das Deformationsverhalten eines auf Temperatur beanspruchten keramischen Werkstoffes.*

Im allg. lassen sich für keramische Roh- und Werkstoffe keine Temperaturfixpunkte angeben, bei denen sich die Festigkeitswerte auffallend ändern. Zur Abgrenzung der verschiedenen Werkstoffe werden von dem zu beurteilenden Material Kegel zusammen mit definierten Pyrometerkegeln* aufgeheizt. Der zu prüfende Kegel wird entweder aus dem gebrannten Werkstoff herausgeschnitten oder aus dem aufgemahlenen Material desselben hergestellt bzw. aus der zu prüfenden Masse geformt. Die Prüfung gilt als beendet, wenn die Spitze des zu prüfenden Kegels die Unterlage berührt; die erreichte Temperatur wird als Kegelfallpunkt bezeichnet (ST RGW 97 978 bzw. DIN 51 063). Liegt der Kegelfallpunkt oberhalb 1 520 °C, wird der Werkstoff als feuerfest und oberhalb 1 800 °C als hochfeuerfest bezeichnet.

Für eine Entscheidung über die Höhe der Einsatztemperatur eines keramischen Werkstoffes reicht gewöhnlich die Kenntnis des Kegelfallpunktes nicht aus. In der Praxis stehen die Werkstoffe ne-

ben der thermischen noch unter mechanischer Belastung, so daß eine Verformung aufgrund beginnender Erweichung bereits bei tieferen Temperaturen einsetzt. Druckfeuerbeständigkeitsprüfungen* u.a. geben hier bessere Auskünfte. [110, 133, 144, 157, 168, 169, 320]

Feuerkitte

1) Zusätze zu Unterglasurfarben

Diese verbinden im Brand die Farbkörper fest mit der Unterlage.

F. bestehen aus Glasurmehl oder stellen eine Mischung von Quarz, Kaolin, Feldspat und Kalkspat dar.

2) Ungeformte feuerfeste Gemenge zum Verlegen und Verfugen geformter Erzeugnisse

F. müssen sowohl bei niederen als auch bei hohen Temperaturen einen dichten und festen Mauerwerksverband gewährleisten; die ursprüngliche chemische Bindung auf der Basis von Phosphorsäure/Aluminiumphosphat geht beim Brand in das hochfeuerfeste $AlPO_4$ über und wird durch eine keramische Bindung ergänzt, so daß die Fugen keinen voreilenden Verschleiß zeigen.

s. Mörtel, feuerfest

Feuerleichtbeton – *eine Gruppe von Feuerbetonen*, die sich durch eine geringe Eigenmasse, hohe Wärmedämmung und geringes Wärmespeichervermögen auszeichnet.*

1) Feuerleichtzuschlagbetone mit einer Rohdichte von 1 bis 1,6 g cm^{-3}

Als Zuschläge kommen Schamotte*, Ziegelbruch, Blähtone* u.a. in Betracht. Für ein poriges und relativ festes Haufwerk sind Körnungen des Splitts von 7 bis 15 mm am günstigsten; an Gefügearten werden dabei unterschieden:

- F. mit Kornporigkeit; hier liegt eine geschlossene Porigkeit vor, d.h., die Hohlräume sind in den Körnern. Diese Qualität ist für Konstruktionselemente geeignet (z.B. konstruktiver F., – F.12-242 – Klassifikationstemperatur 1 200 °C, mit einer Druckfestigkeit nach 7 Tagen von 20 MPa),
- F. mit Haufwerksporigkeit; hier liegt eine offene Porigkeit vor, d. h., die Hohlräume befinden sich zwischen den Körnern. Diese Qualität ist besonders zur Wärmedämmung geeignet.

2) Porenbetone mit einer Rohdichte $<1{,}3$ g cm^{-3}

Sie besitzen ein gleichmäßiges Gefüge, in dem die Poren durch feine Kapillaren miteinander verbunden sind. Porenbetone werden aus feinkörnigen Mineralstoffen, hydraulischen Bindemitteln, Wasser und einem besonderen luftbläschenbildenden Zusatzstoff hergestellt. Entstehen die zellenförmigen Poren durch gasbildende Stoffe (z. B. Aluminiumpulver), spricht man von Gasbeton; werden dem flüssigen Beton Schaumbildner zugesetzt und die Mischung durch physikalische Bearbeitung aufgeschäumt, so entsteht Schaumbeton. Porenbetone besitzen hochwärmedämmende Eigenschaften, z. B. F 16 – 333 mit einer Klassifikationstemperatur von 1 600 °C, einer Rohdichte von 0,90 g cm^{-3} weist eine Wärmeleitfähigkeit von 0,46 bis 0,52 W(m K)$^{-1}$ auf.

F. sind in TGL 27 397 standardisiert [110, 168, 305, 315, 316]

Feuerleichtsteine – *Gruppe von wärmedämmenden Feuerfesterzeugnissen* mit niedriger Rohdichte.* Die Klassifizierung der F. kann nach dem Herstellungsverfahren, dem Grundwerkstoff oder der Rohdichte mit entsprechender Nachschwindetemperatur erfolgen. (Der letztgenannte Gesichtspunkt ist in der ISO-Empfehlung 2245-72 für Erzeugnisse mit >45 % Porosität festgelegt.) Bei der Einsatzbewertung von F. muß berücksichtigt werden, daß die Druckfeuerbeständigkeit von hochporösen Werkstoffen gering ist, so daß die Volumenstabilität gefährdet wird.

F. sind in TGL 6262 standardisiert, dabei sind folgende Abkürzungen gebräuchlich:

- nach dem Ausbrennverfahren hergestellt: Schamotte (SL), Kaolin (KL), Tonerde (TL), Silica (SiL),
- nach dem Schaumverfahren hergestellt: Kaolin (KSL), Tonerde (TSL).

Eigenschaften einiger F. (Auswahl aus Literaturangaben)

- F. aus Schamotte/Kaolin (SL, KL)
  max. Anwendungstemperatur: 1 000 bis 1 450 °C
  Rohdichte: 0,8 bis 1,3 g cm^{-3}
  Druckfestigkeit: 2 bis 5 MPa
  Wärmeleitfähigkeit: 0,3 bis 0,5 W(m K)$^{-1}$
- F. aus Silica (SiL)
  max. Anwendungstemperatur: 1 550 °C
  Rohdichte: 1,1 bis 1,2 g cm^{-3}
  Druckfestigkeit: 3,0 bis 3,5 MPa
  Wärmeleitfähigkeit: 0,5 bis 0,9 W(m K)$^{-1}$
- F. aus Hohlkugelkorund
  max. Anwendungstemperatur: 1 870 °C
  Rohdichte: 1,2 bis 1,4 g cm^{-3}
  Druckfestigkeit: 15 bis 20 MPa

Wärmeleitfähigkeit: 1,1 bis 1,3 W(m K)$^{-1}$
- Schaumfeuerleichtsteine aus Kaolin (KSL)
  max. Anwendungstemperatur: 1 300 °C
  Rohdichte: 0,4 bis 0,7 g cm^{-3}
  Druckfestigkeit: 0,5 bis 1,2 MPa
  Wärmeleitfähigkeit: 0,2 W(m K)$^{-1}$
- Schaumfeuerleichtsteine aus Tonerde (TSL)
  max. Anwendungstemperatur: 1 600 bis 1 850 °C
  Rohdichte: 0,8 bis 1,2 g cm^{-3}
  Druckfestigkeit: 2,5 bis 13 MPa
  Wärmeleitfähigkeit: 0,3 bis 1,2 W(m K)$^{-1}$.

Soweit F. direkt dem Feuer ausgesetzt sind, empfiehlt es sich, Steine auszuwählen, deren Anwendungstemperatur etwa 50 bis 100 K über der Betriebstemperatur im Ofen liegt, da ein Nachschwinden der F. etwa erst nach 250 Betriebsstunden abgeschlossen ist. [110, 124, 133, 144, 310, 315, 316]

s. Wärmedämmstoffe, Bewertung

Feuerschlag – *Brennfehler,* der sich durch braunschwarze Verfärbung, besonders bei Porzellan, äußert und durch direkte Berührung des Brennguts mit flugascheführenden Rauchgasen entsteht.

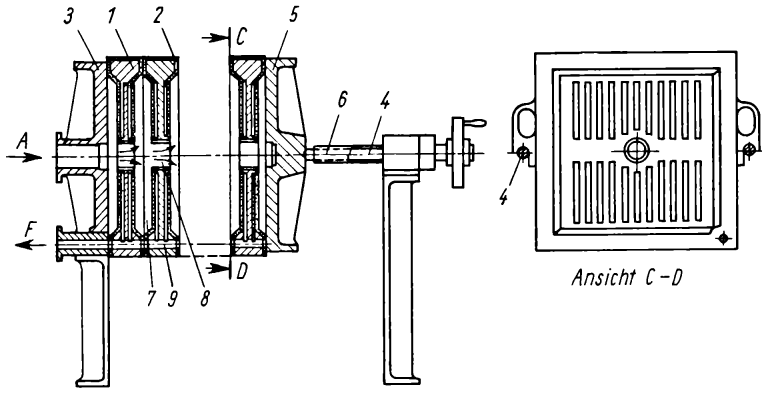
Feuerstein (Flint) – *knollige, runde Kieselgesteine, die sich mikroskopisch aus den SiO_2-Formen Quarz, Opal und Chalcedon zusammensetzen.* Sie kommen häufig zusammen mit Kreidegesteinen vor (Insel Rügen, Dänemark, Kanalküste) und werden als Mahlsteine in Trommelmühlen verwendet.

Feuerton – *aus Schamotte und Ton hergestellter keramischer Werkstoff, der besonders für starkwandige Stücke verwendet wird.* Die meist im Gießverfahren hergestellten Rohlinge werden mit einer Engobe aus weißbrennendem Ton, Kaolin, Sand und Feldspat überzogen, eine Glasur besorgt die Dichtigkeit über der Engobe. F. zeichnet sich durch mechanische Festigkeit, geringe Schwindung und Standfestigkeit im Feuer aus.

Figurenkeramik – *Klein- und Großplastiken aus Terrakotta, Fayence, Majolika, Böttgersteinzeug oder Porzellan.* Kleinere Plastiken werden ohne Stützen massiv modelliert, größere mit Stützen und ausgehöhlt. Die Porzellanfiguren-Modelle, oft in viele Einzelteile zerlegt, werden in Gipsformen gegossen, getrocknet und vor dem Brennen zusammengesetzt (s. Bossieren). Verwendung als Schmuckelemente bei Bauten, Brunnen, Keramiköfen, als selbständiger Raumschmuck, in der Gartengestaltung u. a. In der Urzeit waren bereits Kleinplastiken aus gebranntem Ton bekannt. Einen Höhepunkt erlebt die F. durch die wohl bedeutendsten Modelleure *Kändler* und *Kirchner* in Meißen, *Bustelli* in Nymphenburg u. a., die vor allem in der ersten Hälfte des 18. Jh. eine Vielzahl von Tier- und Menschenplastiken aus Porzellan schufen.

Filtermittel – *poröse Schichten oder flächenhafte Gebilde, die für Gas oder Flüssigkeiten durchlässig sind, dabei aber solche Feststoffteilchen zurückhalten, die einen gewissen Deformationswiderstand aufweisen oder sich fest an Porenwandungen anlagern können.* F. werden aus verschiedenen Werkstoffen, wie Glas, Asbest, Kieselgur, porösen keramischen Erzeugnissen, Natur- und synthetischen Fasern und auch Metallen hergestellt. Für die Auswahl ist zunächst ein ausreichender Widerstand gegenüber mechanischen, chemischen und thermischen Belastungen maßgeblich, außerdem muß die Länge des Abscheideweges (Dicke des F.) und die Größe der Poren auf die spezifische Trennaufgabe abgestimmt werden. Die wichtigsten Gruppen sind Gewebe, Vliese, gesinterte Gläser oder Keramikschüttungen, feinporige Metalldrahtgewebe u. a. [122]

Filterpresse – *Aggregat zum Druckentwässern keramischer Suspensionen auf eine Restfeuchte von etwa 22 bis 20 %.* Der prinzipielle Aufbau einer F., auch Kammerfilterpresse genannt, ist im Bild S. 154 oben dargestellt. Die zu filtrierende Suspension* wird von Membranpumpen* mit Drücken von 0,5 bis 1,5 MPa durch die Aufgabeöffnung A in das geschlossene Plattensystem gedrückt, dabei fließt das durch die Filtertücher gepreßte Filtrat in den rippenartigen Vertiefungen in der Platte hinter den Filtertüchern in der Sammelrinne F ab. Die zurückgehaltenen Teilchen, die sog. Filterkuchen, sammeln sich in den zwischen den Platten vorhandenen Kammern. Die Abpreßzeit, d. h. die Dauer der Umwandlung der Suspension in eine Arbeitsmasse, hängt sehr stark von Korngröße und -form der Feststoffteilchen ab; sie bewegt sich im allg. zwischen 0,3 und 10 h, die Filterflächen betragen 100 bis 400 m^2. Das Ende des Filtervorganges ist an einem charakteristischen Druckanstieg zu erkennen. Bei neueren Anlagen sind die F. auf Bühnen installiert (s. Bild S. 154). Beim Auseinanderziehen der Kammern der Presse fallen die Filterkuchen auf ein Transportband. Eine solche An-

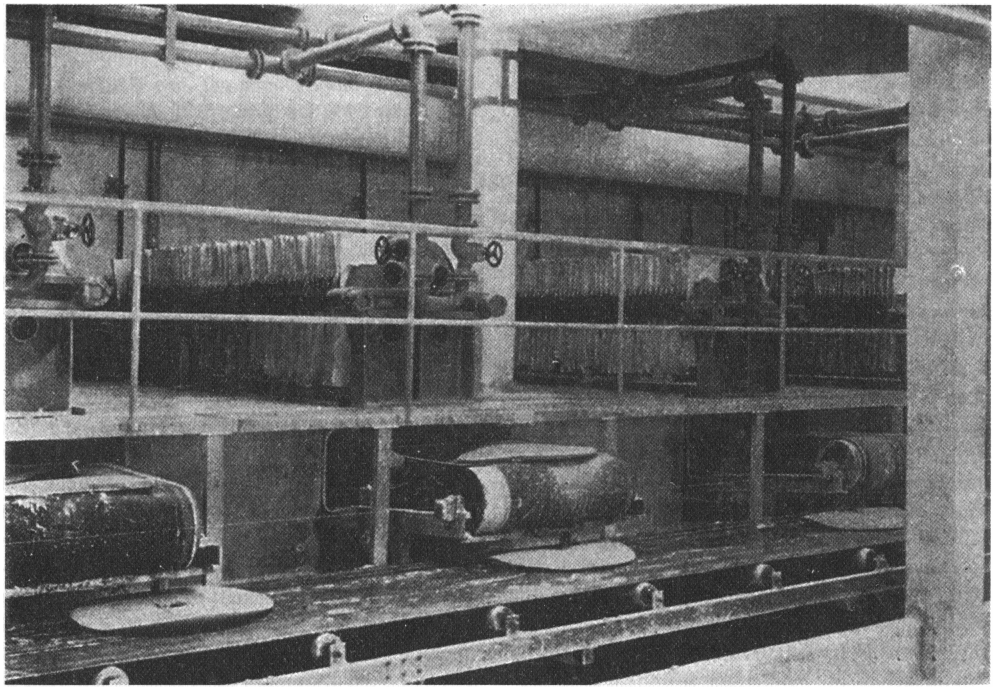


Kammerfilterpresse
1 Platte
2 Filtertuch
3 feststehende Fußplatte
4 Tragholm
5 bewegliche Kopfplatte
6 Schließvorrichtung
7 Filterkammer
8 Zuführkanal
9 Filtratkanal

ordnung trägt wesentlich zur Steigerung der Arbeitsproduktivität bei und vermindert die schwere körperliche Arbeit. [15, 111, 158, 162, 163, 164]

Filtrieren – *Abscheiden von suspendierten Teilchen aus einem Fluid (Gas, Flüssigkeit) mit Hilfe eines porösen Trennmittels*, das vom Fluid durchströmt wird, während es die Teilchen weitgehend zurückhält.*

Ist das Fluid ein Gas, spricht man vom Filtern, dagegen bei Flüssigkeiten von Filtrieren. Das durchgeströmte Fluid heißt Reingas bzw. bei der Flüssigfiltration Filtrat. Trennmittel bzw. Filtermittel* kann ein Flächengebilde oder eine Schicht sein. Die erforderlichen Triebkräfte für den Ablauf des Prozesses können durch Überdruck auf der Eintrittsseite des Filtermittels (Druckfiltrieren), durch Unterdruck auf der Austrittsseite des Filtermittels



Filterpresse

(Saug- oder Vakuumfiltrieren), durch Schwere (Schwerkraftfiltrieren) oder durch Verwendung eines saugfähigen porösen Mediums (Kapillarfiltrieren) aufgebracht werden. Die abzusondernden Teilchen lagern sich entweder auf dem Filtermittel ab (Oberflächenfiltrieren) oder werden durch Adhäsion an den inneren Porenwandungen (Tiefenfiltrieren) festgehalten. Die abgelagerten Teilchen bilden auf dem Filtermittel eine Schicht (sog. Filterkuchen) und werden zyklisch abgenommen. Bei der Tiefenfiltration erfolgt das Entfernen der abgeschiedenen Teilchen durch Rückspülung.

Für die technische Durchführung des F. gibt es viele Bauarten von Filteraggregaten, bedingt durch die verschiedenen Möglichkeiten der Triebkrafterzeugung.

In der Keramik werden insbesondere Filterpressen* und Saugzellenfilter* genutzt. Darüber hinaus kennt man noch Behälter mit Filterböden (Tiefbettfilter), Bandfilter mit umlaufenden Bändern, Scheibenfilter, zylindrische Filter (Kerzenfilter) und profilierte Plattenfilter mit schmalen Filterkammern.

Für die Auslegung von Filtern kann die *Kozeny-Carman*-Gleichung herangezogen werden. Sie beschreibt den Ablauf eines Filterzyklus. Danach ist der momentane Filtrationsvolumenstrom dv/dt mit der Filterfläche A, der Druckdifferenz Δp und dem bereits durchgeflossenen Filtratvolumen V durch die Differentialgleichung

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta p A}{\eta (\beta + \alpha c V)}$$

η Viskosität des Filtrats
β Maß für den Widerstand des Filtermittels
α spezifischer Widerstand des Kuchens
c Verhältnis von Feststoffmasse zu Filtratvolumen, das sich vor dem Trockensaugen ergibt,

verknüpft. [15, 122]

Fireclay – *Kaolinit mit gestörter Gitterstruktur.* Die einzelnen Schichtpakete liegen in Richtung der b-Achse nicht geordnet vor, sondern sind um ein Vielfaches von $b_0/6$ verschoben. Diese Störung äußert sich u. a. in erhöhter Bildsamkeit und erhöhter Reaktionsbereitschaft beim Brand (b_0 Gitterkonstante in Richtung der b-Achse).

Firstziegel – *Dachziegel mit Verfalzung von walmartigem Querschnitt.*

F. bilden den Abschluß zwischen zwei unter verschiedenen spitzen Winkeln zusammenstoßenden Dachflächen. Sie dienen gleichzeitig der Be- und Entlüftung des Dachraumes. [157]

Flachbrandofen – *s.* Schnellbrandöfen

Flachgeschirr – Sammelbezeichnung für Geschirrteile, wie Teller, Platten u. a., die nach Durchmesser und Längen gemessen, d. h. nach ihrer geometrischen Grundform erfaßt werden.

Flammenspritzen – *s.* Schoopen

Fliesen – *flache keramische Platten zur Verkleidung von Wänden und für Bodenbeläge.* Man unterscheidet Wandfliesen mit porösem Steingutscherben und unglasierte bzw. glasierte gesinterte Bodenfliesen.

1) Wandfliesen

Diese werden nach feinkeramischer Technologie aus Ton/Rohkaolin, Sand u. a. mineralischen Rohstoffen naß oder trocken aufbereitet, trocken verpreßt und gebrannt. Kennzeichnend sind der feinkörnige, poröse Scherben ($WA = 9$ bis 20 %) und die einseitig, im allg. in einem zweiten Brand aufgeschmolzene Glasur. Die Verwendung kann in allen Innenräumen erfolgen, wegen der fehlenden Frostbeständigkeit* jedoch nicht an Außenwänden. Durch Abmessung, Farbe und Oberflächengestaltung kann ein ästhetischer und hygienischer Wandbelag gestaltet werden. Die gängigen Abmessungen sind: 150 mm × 150 mm, 108 mm × 108 mm, 75 mm × 150 mm; die Dikken betragen 6 bis 9 mm.

2) unglasierte Bodenfliesen

Erzeugnisse aus Ton, Sand u. a. mineralischen Rohstoffen, die naß aufbereitet, sprühgetrocknet, trocken verpreßt und im Einbrandverfahren (Brenntemperatur 1050 bis 1250 °C) gebrannt werden. Kennzeichnend ist der feinkörnige, gesinterte, fast nicht mehr saugende Steinzeugscherben ($WA < 3{,}5$ %). Es werden weiße, gelbe, graue, rote, braune und schwarze F. einfarbig und mehrfarbig (geflammt) hergestellt. Die Verwendung der u. B. kann in allen Innenräumen und, da sie frostbeständig sind, auch in Naßräumen und Außenbereichen (z. B. Terrassen) erfolgen. Durch entsprechende Oberflächengestaltung sind rutschfeste Beläge möglich.

3) glasierte Bodenfliesen

Kennzeichnend für diese Erzeugnisse ist der feinkörnige, dichte Scherben. Die glasierte Oberfläche ist glänzend bis matt, eben profiliert, wellig, dekoriert oder auf andere Weise gestaltet. Die abriebfe-

sten Glasuren werden je nach Widerstand in drei Oberflächenverschleißklassen eingeteilt:

Klasse 1: leichte Beanspruchung (niedrige Begehungsfrequenz im privaten Wohnbereich)

Klasse 2: mittlere Beanspruchung mit normalem Schuhwerk (Sanitär- und Therapieräume in Krankenhäusern o. ä.)

Klasse 3: starke Beanspruchung mit stärkerer Begehungsfrequenz (Räume mit starkem Publikumsverkehr wie in Schulen, Hotels)

Gebräuchliche Formate sind: 150 mm × 150 mm, 100 mm × 100 mm. Die Abmessungen 20 mm × 20 mm werden als Kleinmosaik und die Größen 50 mm × 50 mm als Mittelmosaik bezeichnet; sie werden auf Papier aufgeklebt geliefert. [157, 335]

s. Spaltplatten

Fliesenpresse – *Spezialpresse zum Formen von Fliesen,* ausgeführt als Kniehebel-, Drehtisch-, Friktionsspindel- oder hydraulische Pressen sowie Kombination der letzten beiden. Sämtliche Arbeitsgänge (Pressen, Entgraten, Entstauben, Dublieren, Wenden und Stapeln) sind vollmechanisiert. Putzmaschine und Stapelgerät sind mit der F. gekoppelt (s. Bild).

Fließen – *Ortsveränderungen von Volumenelementen eines Stoffes unter Einwirkung von Kräften.* In der Keramik treten Fließvorgänge beim Verformen und Sintern von Massen, beim Ausschmelzen von Glasuren und beim Bruch bei höheren Temperaturen in Erscheinung. Für eine allgemeine Darstellung versucht man, die unterschiedlichen Verhaltensweisen der Stoffe durch die Aufnahme von Fließkurven* zurückzuführen auf Beziehungen von:

Schubdeformation τ – Geschwindigkeitsgefälle D^* –Schubdeformation γ – Fließgrenze τ_a – Elastizitätskonstante*,

stellt dazu rheologische Modelle* auf und leitet daraus rheologische Gleichungen ab.

Niedermolekulare Flüssigkeiten genügen im allgemeinen dem *Newton*schen Fließgesetz

$$\tau = \eta D$$

η dynamische Viskosität* als Materialeigenschaft.

Elastische Stoffe werden durch das *Hooke*sche Gesetz beschrieben:

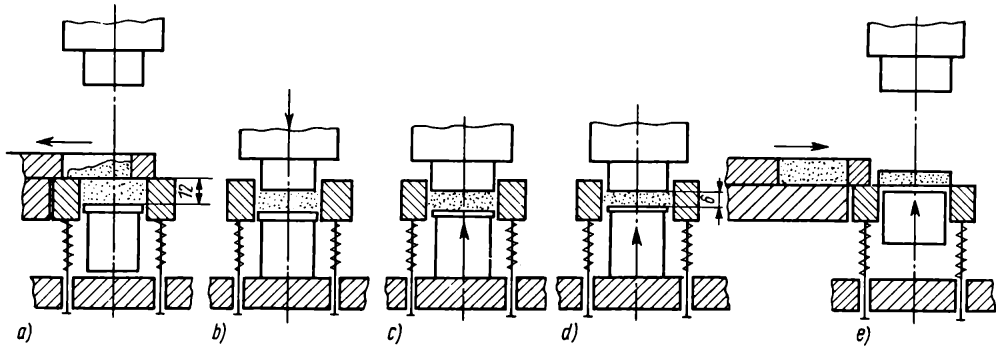
$$\tau = G \gamma$$

G Materialkonstante.

Idealplastische Stoffe verhalten sich unterhalb eines bestimmten Spannungsbetrages völlig starr und lassen sich oberhalb dieses Betrages – der sog. Fließgrenze – widerstandslos verformen (sog. *St.-Venant*-Körper).

Beim Verformen von Einkristallen und polykristallinen, einphasigen Werkstoffen erfolgt nach Überschreiten der Fließgrenze ein F. in Form von Gleiten eines linienhaften Fehlordnungszustandes auf kristallographisch definierbaren Gleitebenen und Gleitrichtungen. [52, 111, 130, 133, 146]

Fließgrenze (Anlaßwert) – *Spannungsbetrag τ, der aufgewendet werden muß, damit eine keramische*



Arbeitszyklus einer hydraulischen Fliesenpresse (Schema)

a) Füllen der Preßform und Abstreichen

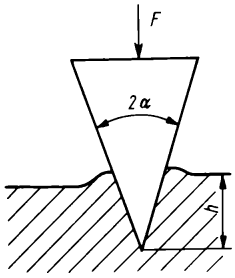
b) Vorverdichten durch Oberstempel

c) Vorpressen durch Unterstempel

d) Fertigpressen durch Unterstempel

e) Ausstoßen und Wegschieben der gepreßten Fliese

Masse zu fließen beginnt. Eine exakte Bestimmung der F. ist schwierig (s. Bild), numerische Angaben



Bestimmung der Fließgrenze $\sphericalangle = 2\alpha$

sind aus folgenden Gründen mit Vorbehalt aufzunehmen:
- die Schubspannung ist über den Versuchskörper ungleichmäßig verteilt,
- keramische Massen sind immer mehrphasig, daher sind örtliche Schwankungen vorhanden,
- Thixotropieeffekte sind immer gegeben,
- die F. ist von der Geschwindigkeitssteigerung der Spannungen abhängig.

Für betriebliche Zwecke sind zur Bestimmung der F. folgende Verfahren üblich.

1) Einsinken eines Metallkegels in die Oberfläche eines Massestücks durch Eigenmasse und ggf. noch Zusatzgewichtsstücke; unter Vernachlässigung der Normalspannung gilt:

$$\tau = \frac{F \cot \alpha}{h^2}$$

τ Schubspannung (in kp cm^{-2}) als Fließgrenze
F Kraft (in kp)
h Eindringtiefe (in cm).

Diese Formel liefert nach *F. Moore* bei kleinen Winkeln brauchbare Werte für τ.

2) Druckmethode – Zusammenpressen eines Massezylinders

3) Auspreßmethode – Auspressen eines Massestranges aus einer Kolbenpresse

4) Torsionsmethode – Bestimmung des Torsionsmomentes an einem zylindrischen Massestab

Fließkunde – *s.* Rheologie

Fließkurve – *mit Hilfe von Viskosimetern* aufgenommene Kurven, die die Abhängigkeit des Geschwindigkeitsgefälles* D von der wirkenden Scherspannung τ wiedergeben.*

Für die verschiedenen Viskosimetertypen werden geeignete Auftragsgrößen verwendet, um eine Unabhängigkeit der F. von den geometrischen Daten für eine bestimmte Flüssigkeit zu erhalten. Für keramische Schlicker* können F. durch die Zahlenwertgleichung

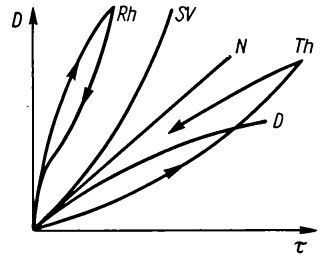
$$\tau^n = k\,D$$

n, k dimensionslose Konstanten

beschrieben werden. Dabei ergeben sich:
- bei $n = 1$ die idealviskose *Newton*sche F. (einfache Gerade), $k = D$,
- bei $n > 1$ F., bei denen D mit zunehmenden τ stärker als linear ansteigt; mit wachsender Scherspannung verflüssigt sich die Masse; man spricht in diesem Falle von Strukturviskosität* bzw. damit zusammenhängend von Thixotropie*,
- bei $n < 1$ mit zunehmender Scherspannung τ geringer als linear ansteigendes D; man spricht in diesem Falle von Rheopexie* bzw. auch damit zusammenhängend von Dilatanz* (s. Bild).

[39, 111, 133, 148]

s. Elastizitätskonstante, Viskosität, Modelle, rheologische



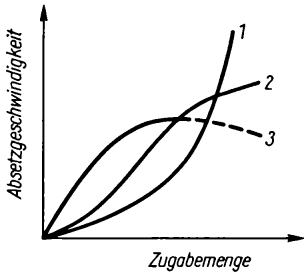
Fließkurventypen
N *Newton*sche Flüssigkeit
D Dilatanz
SV Strukturviskosität
Rh Rheopexie
Th Thixotropie

Fließstrecke – *Wegstrecke, die eine Glasur, Fritte oder ein Spat auf einem um 45° von der Waagerechten geneigten Rinnenviskosimeter unter gegebenen Temperatur-Zeit-Bedingungen nach Erreichen des Schmelzintervalls zurücklegt.* Sie ist eine Funktion von Stoffmenge, chemischer Zusammensetzung, Körnung, Neigung des Rinnenviskosimeters und Brennregime. Aus der F. lassen sich Aussagen über das Fließverhalten (s. Fließen) der Stoffe ableiten.

Flockung – *Verringerung des Dispersitätsgrades bzw. Zusammenballen von Kolloiden* und kolloidähnlichen Teilchen.* Dieser Vorgang führt zu einer erhöhten Sedimentationsgeschwindigkeit der Aggregate. F. wird überall dort angestrebt, wo Trüben*/Suspensionen* schnell sedimentieren sollen; sie ist im Prinzip reversibel.

Für das Zusammenballen der Teilchen ist einmal die Struktur der Teilchen selbst und zum anderen die Art des Flockungsmittels verantwortlich. Das Verhalten der Teilchen wird bestimmt durch die Wechselwirkungen von den *van-der-Waals*schen Anziehungskräften und den elektrostatischen Abstoßungskräften, die durch die elektrische Doppelschicht* hervorgerufen werden. Eine F. ist nur möglich, wenn die *van-der-Waals*schen Kräfte überwiegen und die elektrostatischen Abstoßungskräfte durch Elektrolyte* abgebaut werden; dabei ist die Wertigkeit der Elektrolyte von wesentlicher Bedeutung. So ist die entstabilisierende Wirkung einwertiger Elektrolyte gering, die der höherwertigen schon in geringer Konzentration viel größer.

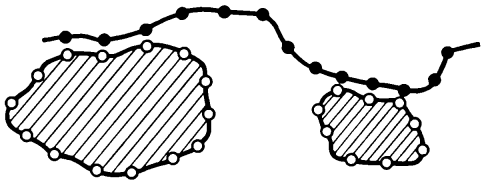
Der Flockungseffekt wird durch die Zugabe von synthetischen organischen Flockungsmitteln entscheidend verstärkt. Synthetische Flockungsmittel stellen geradkettige, unverzweigte Makromoleküle mit Molekulargewichten von einigen Zehntausend bis einige Millionen dar, das entspricht einer Fadenlänge im gestreckten Zustand bis etwa 40 µm. Flockungsmittel werden gewöhnlich unterteilt in (s. Bild):



Wirkungsweise der Flockungsmittel
1 nichtionogene Flockungsmittel
2 Mischpolymerisat
3 ionogenes Flockungsmittel

- nichtionogene Flockungsmittel (z. B. Polysaccharide, Polyvinylalkohol),
- ionogene Flockungsmittel mit den Gruppen:
  - anionische Polymere, z. B. Polyacrylate,
  - kationische Polymere, z. B. quaternäre Ammoniumverbindungen,
  - Mischpolymerisate aus anionischen und kationischen Polymeren,
- Mischpolymerisate aus nicht ionogenen und ionogenen Flockungsmitteln.

Der Prozeß der Flockenbildung bei Kaolintrüben läuft etwa wie folgt ab: Flockungsmittel erzeugen in wäßrigen Lösungen durch ihre dissoziationsfähigen Gruppen oder durch Dipole Oberflächenladungen, die mit den negativen Ladungen der Tonmineraloberflächen in Wechselwirkungen treten. Im Ergebnis werden die Ketten der Flockungsmittelmoleküle von den Tonmineralen adsorbiert. Ein Makromolekül kann von Teilchen adsorbiert werden und so Flocken bis zu Millimetergröße erzeugen (s. Bild). Die Dosierung der Flockungsmittel



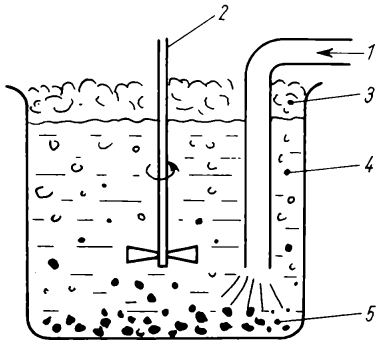
Wirkungsweise von makromolekularen Flockungsmitteln

liegt im ppm-Bereich (etwa 100 g/t Kaolin). Flokkungsmittel werden gegenwärtig vielfach von den Kaolinaufbereitungswerken zur Produktionssteigerung herangezogen. Solange in optimalen Bereichen gearbeitet wird, wirken diese Zusätze verbessernd auf den Filtrationsprozeß und den Scherbenansatz im Gießprozeß; eine Überschreitung der optimalen Gehalte bedingt jedoch eine Qualitätsminderung in der Weiterverarbeitung. [42, 155, 156, 332, 333]

s. Ausführungen zu Koagulation, Koaleszenz, Kolloide, Viskosität

Flotation (Schwimmaufbereitung) – *Anreicherungsverfahren, das auf der Ausnutzung der Oberflächeneigenschaften von Mineralen beruht.* Die Suspension (Trübe) von Mineralen wird nach Zusatz kleiner Mengen sog. *Flotationsreagenzien* stark mit Luft vermischt. Die Chemikalien verändern die Oberflächeneigenschaften der Komponenten des Mineralgemischs derart, daß bestimmte Mengen von ihnen sich an die aufsteigenden Luftbläschen anlagern und mit diesen an die Oberfläche der Suspension getragen werden. Der dort entstehende Schaum enthält die gewünschten Mineralkomponenten. Die Berge verbleiben in der Suspension. Für keramische Zwecke wird die F. in großtechnischem Maßstab vor allem zur Gewinnung von Magnesit, Feldspat und in neuerer Zeit in verstärktem Umfang zur Gewinnung von Glassand

eingesetzt. So schwimmt Feldspat nach Zugabe von Natriumoleat; Quarz flotiert mit Ölsäure, wenn in der Trübe Erdalkali- und Schwermetallsalze vorhanden sind, deren Kationen an der Mineraloberfläche mit dem zugegebenen Sammler schwerlösliche Seifen bilden (s. Bild).



Prinzip des Flotationsvorganges
1 Luftzufuhr
2 Rührer
3 Schaum mit Mineralteilchen
4 Stofftrübe
5 taubes Gestein (Quarz)

Fluidität (Fließvermögen; lat.: fluere = fließen) – Kehrwert der Viskosität*

Fluoremission: (lat.: emittere = herausschikken) – *Abgabe des diadoch* anstelle von OH-Gruppen in Tonmineralen* eingebauten Fluors bzw. in Reaktion mit Wasserdampf als HF in den Abgasen silicatischer Massen bei Brenntemperaturen oberhalb 700°C (Maximum der Abgabe bei 1000 bis 1200°C).*

Nach Untersuchungen von *Thomas* beträgt der F-Gehalt in Abgasen im Mittel nur etwa 0,05 Masse-%, kann aber erheblich ansteigen. F bzw. HF ist ein giftiges Gas und führt bei Menschen und Tieren zur sog. Fluorose, einer Schädigung der Knochensubstanz. (Fluorose wird ebenfalls durch Aufnahme stark fluorhaltiger Pflanzen und erhöhten F-Gehalt im Trinkwasser (>1 mg l^{-1}) hervorgerufen.)

Die Abgabe von F bzw. HF kann reduziert werden durch:

- Verhinderung der Freisetzung des Fluors durch ofen- und brenntechnische Maßnahmen (z. B. schnelles Durchfahren des Temperaturbereichs der Hauptabgabe, um genügend Schmelzphase zum Schließen des Scherbens zu erhalten),
- Bindung des Fluors durch Zusätze zur Masse (Kalk, Magnesia),
- Separierung des Prozeßgasstromes, um die entstehenden Schadstoffe (eingeschlossen SO_2) unverdünnt aus geringer Gasmenge durch Gasreinigung zu entfernen; diese Methode ist die wirksamste, jedoch zugleich die teuerste,
- Einsatz fluorarmer Rohstoffe.

[326, 327]

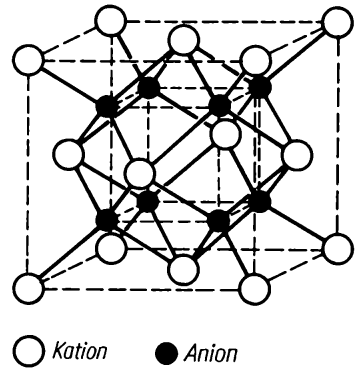
Fluorit (Flußspat, CaF_2)

Kristallographie: kubisch; spaltbar nach Oktaeder

Physikalische Eigenschaften: in allen Tönungen gefärbt (Ursachen: Spurenelemente, Gitterfehler, radioaktive Einwirkungen u. a.); $H = 4$; $D = 3{,}1$ bis $3{,}2\ g\ cm^{-3}$; häufig Fluoreszenz, beim Erwärmen auch Phosphoreszenz

Anwendung: Herstellung von Flußsäure und künstlichem Kryolith*

Fluoritstrukturtyp (CaF_2-Typ) – *ein bei natürlichen und synthetischen Ionenkristallen weit verbreiteter Gittertyp, der wie eine Ineinanderstellung eines primitiven F-Würfels in ein flächenzentriertes Ca-Gitter aussieht.* Ca ist hexaedrisch von 8 F-Ionen ([8]-Koordination) und F tetraedrisch von 4 Ca-Ionen ([4]-Koordination) umgeben. Der Inhalt der Elementarzelle umfaßt 4 Formeleinheiten, die Gitterkonstante beträgt 0,546 nm (s. Bild).



Fluoritstruktur

Die obere Grenze des Existenzbereichs des F. ist bei einem Radienverhältnis der Kationen und Anionen $r_K/r_A = 4{,}45$, die untere Grenze bei $r_K/r_A = 0{,}732$ gegeben. Im F. kristallisieren eine Anzahl von Werkstoffen, die als Festkörperelektrolyte Bedeutung erlangt haben, z. B. CeO_2^*, ThO_2^*, ZrO_2^* u. a. [8, 293]

Fluß – *leichtschmelzendes, flußmittelreiches Silicatglas (Bleiglas).* Dem F. werden keramische Farben

zugesetzt (Fluß und Metalloxid im Verhältnis 3:1 bis 5:1), der das einfache Metalloxid (als Farbstoff) auflösen und zu dem entsprechenden farbigen Silicat entwickeln soll; Verbindungen, die schon den richtigen Farbton haben (Chromate, Farbkörper u. ä.), werden nicht gelöst, sondern bleiben in dem erweichenden und glänzend erstarrenden F. lediglich feinst verteilt. F. haben die Aufgabe, die Farbe auf der Glasur zu befestigen und ihr Glanz, Härte und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Einwirkungen zu geben (Aufglasurdekoration). Die Schmelztemperatur der F. muß niedriger liegen als der Erweichungsbereich der darunterliegenden Glasur. Rohstoffe für Flüsse sind Quarz, Borax, Borsäure, Salpeter, Natron, Mennige, Bleiglätte u. a. Giftige und wasserlösliche Stoffe werden gefrittet (s. Fritte). Die chemische Zusammensetzung der F. ist für die Entwicklung der Farbe, eines bestimmten Farbtons, sehr bedeutsam. Der einfachste F. ist der *Rocaillefluß* $1\,PbO \cdot 1{,}25\,SiO_2$ (3 Teile Mennige, 1 Teil Quarzmehl); andere F. sind $1\,PbO \cdot SiO_2$; $1\,PbO \cdot 1\,B_2O_3 \cdot 1\,SiO_2$. [164, 185]

Flüssigkeitsabtrennung – *Entfernen des bei der Aufbereitung in den Zwischenprodukten/Arbeitsmassen vorhandenen Wassers.* Die meisten Zwischenprodukte, wie sie bei den keramischen Aufbereitungsanlagen anfallen, müssen vor der Weiterverarbeitung bzw. auch für den Transport von zentralen Aufbereitungsanlagen zu den Betrieben weitgehend entwässert werden. Dies kann durch mechanische F. (Filtration*) oder thermische F. (Trocknung*) geschehen.

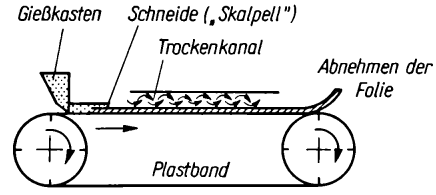
Die erreichbare Restfeuchte bei der mechanischen F. hängt, abgesehen von der Zeit, von den Eigenschaften des körnigen Gutes (Korngrößenverteilung, Packungsdichte, Benetzbarkeit), der Flüssigkeit selbst (Oberflächenspannung, Viskosität) sowie vom wirksamen Potentialgefälle (treibende Kraft) ab. Wird mit der mechanischen F. das angestrebte Ziel nicht erreicht, muß eine Trocknung nachgeschaltet werden; letztere ist jedoch ökonomisch aufwendiger.

s. Filtrieren, Filterpresse, Zerstäubungstrocknung

Flüssigkristalle – *s.* Kristalle, flüssige

Flußmittel – *Zusätze oder Beimengungen, die die Schmelztemperaturen herabsetzen.* In der keramischen Masse erhöhen F. die Trennstellen (Netzwerkwandler), erniedrigen damit die Viskosität und tragen über die Bildung einer schmelzflüssigen Phase wesentlich zur Verdichtung des Scherbens und Herabsetzung der Sintertemperatur bei. Der Wirkungsmechanismus ist bei den einzelnen Stoffen unterschiedlich. Eine Gruppe von F. wirkt auf Grund ihrer leichten Schmelzbarkeit verflüssigend und lösend auf die anderen Bestandteile ein. Dabei bilden sich Brücken zwischen den Partikelchen und veranlassen die Poren, nach der Scherbenoberfläche zu wandern. Benetzungsfähigkeit, Grenzflächenspannung und Viskosität haben dabei entscheidenden Einfluß. Eine andere Gruppe dissoziiert zuerst, setzt sich mit anderen Massebestandteilen um und wirkt dann erst verflüssigend (z. B. Kalk). Die wichtigsten F. sind Feldspate, eine Reihe weiterer Alkali- und Erdalkaliverbindungen, Borverbindungen, Blei- und Eisenoxide u. a. In bezug auf Kieselsäure kann man eine Art Schmelzbarkeitsreihe aufstellen: PbO, Na_2O, K_2O, FeO, ZnO, CaO, MgO, BaO, CuO, NiO, Al_2O_3. PbO ist das stärkste F., bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer dieser Oxide verstärkt sich die Wirkung der F.

Foliengießen (»Doctor-blade«-Verfahren, übersetzt: »Skalpell«-Verfahren) – *keramisches Formgebungsverfahren zur Herstellung flacher, dünnschichtiger Keramikteile, die als Träger (Substrate) mikroelektronischer Schaltungen oder Dielektrikum verwendet werden.* Das Verfahren besteht darin, einen keramischen Gießschlicker mit Hilfe einer feststehenden Rakel gleichmäßig und kontinuierlich auf ein vorbeigeführtes inertes Transportband aufzutragen und die gebildete Schlickerschicht durch kontrollierte Verdampfung der flüchtigen Komponenten in ein schichttragendes, flexibles Keramikband zu überführen (s. Bild).



Grundprinzipien des »Doctor-blade«-Verfahrens (nach [123])

Als temporäre Bindemittel für die unbildsamen Massen enthält das Dispersionsmedium thermoplastische Polymere, die aus ihren Lösungen ela-

stische Filme bilden können. Ausgehend vom aufbereiteten Versatz umfaßt das Verfahren nach *P. Nobst* und Mitarbeiter folgende Teilprozesse:
- mechanische Dispergierung der Versatzkomponenten in den Lösungsmitteln, unter Umständen in Gegenwart von Dispergatoren,
- Zugabe des Bindemittelsystems und Homogenisierung des Schlickers in Kugelmühlen,
- Vakuumentlüftung und Viskositätskorrektur des Schlickers,
- Gießvorgang durch Rakelauftrag auf das Trägerband,
- Trocknung der Gießschicht im Luftstrom bei definierter Temperatur,
- Trennung der Keramikfolie von der Gießunterlage, ggf. nach einer technologisch bedingten Zwischenlagerung.

Aus der Sicht der Weiterverarbeitung der Folien werden an das F. folgende Forderungen gestellt:
- hohe und gleichmäßige Grünlingsdichte als Voraussetzung für die Herstellung dichter, toleranzgerechter und deformationsfreier Keramikkörper,
- konstante Dicke und Oberflächenqualität,
- ausreichende mechanische Stabilität.

[342, 123, 343)

Fond – mit Farbe gespritzter Teil der Geschirroberfläche als Untergrund für weitere Dekorationen.

Fondporzellan – *Porzellan mit einfarbigem Fond und weiß ausgesparten Flächen (Reservagen).* Diese sind mit Handmalereien der verschiedensten Art ausgefüllt. Die Blütezeit des F. lag in Meißen um 1730. Als Farben wurden hauptsächlich Gelb, Apfelgrün, Meergrün, Blaßviolett, Graublau, Purpur und Rot verwendet. Die meist mit Goldkante oder Laub- und Bandelwerk umrahmten Aussparungen hatten häufig Vierpaß-, Kreis- oder Ellipsenform.

Form – *Arbeitsmittel in der Keramik, das ganz oder teilweise das Negativ des zu produzierenden Formlings darstellt und der Formgebung dient.* Als Formenmaterial dient noch vorwiegend Gips, im zunehmenden Maße werden aber auch Kunststoffe eingesetzt. Die F. sind einteilig bei Drehformen für einfache, rotationssymmetrische, nicht untergriffige Gegenstände. Sie bestehen aus mehreren Teilen bei gegossenen und untergriffigen Artikeln.

s. Modelleinrichtung

Formbeständigkeit (Raumbeständigkeit)
1) Erhaltung der äußeren Form keramischer Produkte beim Brennen bzw. Sintern. Für das Festhalten einer Masse an der durch die Formgebung aufgezwungenen Geometrie sind die Viskosität bestimmter Silikatschmelzen und die kristallinen Anteile verantwortlich. Die F. von Massen und Rohstoffen kann durch Bestimmung der Durchbiegung von Probestäbchen beim Brand eingeschätzt werden.
2) Volumenbeständigkeit ff. Baustoffe. Fertig gebrannte Steine schwinden oder wachsen beim Einsatz nach. Dazu werden Steinproben vor und nach einem zweistündigen Ausbrand bei 1350 bzw. 1500 °C vermessen. Allgemein gilt: je gleichmäßiger die Wärmedehnung eines Steines, desto kleiner seine bleibende Längenänderung (wenige Zehntelprozente).

Formfaktor – *ein für eine Gefügeanalyse erforderlicher Kennwert, gebildet aus Fläche/Umfang² eines Kornes.* Der F. stellt eine zusätzliche Gefügecharakterisierung dar und hat einen höheren Informationsgrad als herkömmliche Beschreibungsverfahren.
Die Messung des F. von einem Körnerkollektiv ist sehr arbeitsaufwendig und kann mit endlichem Zeitaufwand nur automatisch aufgenommen werden (Fernsehkamera, Diskriminator, Tischrechner u. a.). Diese sog. automatische Gefügeanalyse funktioniert jedoch nur bei einfachen Gefügen »einfach«, bei mehrphasigen Gefügen, deren Bestandteile nahezu gleiches Transmissions- oder Reflexionsverhalten zeigen, ist die Trennung mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da die Methode nur nach Grauwerten diskriminiert. Der präparative Aufwand ist dabei groß. [97]

Formgebung – *technologischer Fertigungsabschnitt, in dem eine Arbeitsmasse weitgehend in die gestaltliche Endform gebracht wird.* Das Ergebnis der F. ist der Formling oder Rohling.
Das anzuwendende Formgebungsverfahren wird im allg. bestimmt durch:
- die angestrebte Erzeugnisgeometrie,
- die Verarbeitungseigenschaften der Arbeitsmasse,
- die herzustellende Stückzahl, d.h. durch ökonomisch-technische Gesichtspunkte.

Das Verfahren muß sichern, daß der Formling stofflich homogen* ist und ein gleichmäßiges Gefüge, d.h. keine Texturen* aufweist. Dies setzt vor-

aus, daß die Arbeitsmasse selbst schon homogen ist. Angestrebt wird eine hohe Packungsdichte*.
Grundsätzlich kommen drei Kategorien von Formgebungsverfahren zur Anwendung:
1) bildsame Formgebung
Sie wird dann angewendet, wenn der zu formende Artikel Rotationssymmetrie besitzt und die zu verwendende Masse die erforderliche Bildsamkeit* aufweist.
2) Pressen
Auf P. wird zurückgegriffen, wenn die zu formenden Artikel in großer Stückzahl anfallen, eine hohe Maßhaltigkeit gefordert wird und die Geometrie der Artikel eine Druckverformung erlaubt, dazu kommen unbildsame bzw. nur mäßig bildsame Massen zum Einsatz.
3) Gießen
G. kommt zur Anwendung, wenn die Geometrie des Formlings durch bildsame Formgebung oder Pressen nicht erreicht werden kann.
Daneben gibt es noch einige Sonderverfahren, wie
- Spritzen oder Gießen aus dem schmelzflüssigen Zustand (z. B. Plasmaspritzen),
- Spritzgießen unter Zuhilfenahme von Wachsen und Thermoplasten.

In einigen Fällen handelt es sich auch um Kombinationen verschiedener Kategorien (z. B. Gießen und isostatisches Nachpressen). Bei einer Reihe von Formgebungsarbeiten müssen noch Vollendungsarbeiten nachgeschaltet werden (s. Übersicht).
[14, 39, 115]

Formgebungstexturen – *Anisotropien innerhalb des Gefüges eines keramischen Formlings bzw. Scherbens*, die ihre Ursachen einmal in den meist sehr feinkörnigen, diskreten und anisometrischen Feststoffteilchen und zum anderen in den verschiedenen Formgebungsverfahren haben.
Bei den *bildsamen Formgebungsverfahren* (Handformen, Drehen, Rollen, Strangpressen) lagern sich besonders die plättchenförmigen Teilchen parallel der Fließrichtung, bedingt durch Gleitbewegungen innerhalb der Masse und durch die Wasserhüllen. In schlecht entlüfteten Massen können z. B. bevorzugte Bewegungsrichtungen durch die Streckung der Poren nachgewiesen werden. Beim *Pressen* von trockenen Pulvern können F. bereits während des Massedosierens und durch schichtige Lufteinschlüsse während des Pressens entstehen, die sich in Abblätterungen parallel zur Preßfläche des Preßstempels äußern (sog. Schieferungen). Eine Minderung dieses Fehlers ist u. a. durch Magern der Masse, Änderung des Entlüftungstaktes innerhalb des Preßzyklus möglich.

Übersicht

Keramische Formgebung

Gießen	*bildsame Formgebung*	*Pressen*	*Sonderverfahren*
Hohlguß	Freidrehen	Naßpressen	thermoplastisches Formen
Kernguß	Eindrehen	Halbnaßpressen	Flammenspritzen
Vollguß	Überformen	Trockenpressen	Plasmaspritzen
Druckguß	Strangformen	Stampfen	reduktionsthermisches Formen
kombiniertes Gießen	Abdrehen/ Kopieren	isostatisches Pressen	Torkretieren
Foliengießen	Extrudieren	Vibrationsformen	Slingern
		Hochenergieformen	Weißbearbeitung

Vollendungsarbeiten der Rohfertigung
Garnieren
Verputzen
Bossieren
Verschwammen
Kalandrieren

Beim *Gießen* werden insbesondere bei Einsatz neuer Gießformen Risse an Werkstücken und Abschnürungen der Eingüsse durch zu schnelles Ansaugen und Spannungs- und Schwindungsrisse durch nicht gleichmäßig verdichtete Scherben bei Großartikeln vorwiegend beim 1. bis 3. Guß beobachtet. [349, 350]

Formöl – *s.* Gleitmittel

Formstein – *Sammelbezeichnung für sämtliche Ziegelarten, die nicht den Abmessungen der Normalsteine NF 1, NF 2 oder NF 3 entsprechen.* Standardisierte F. werden maschinell durch Pressen hergestellt, nichtstandardisierte meist mit der Hand gefertigt. Beim Bau von Brennöfen werden sie als Wölb- (Hohlkeil-, Langkeil-), Türbogenwölb-, Fuchsbogenwölb-, Radial-, Türeck-, Schüttlochsteine u. a. verwendet. In der Architektur spielten F. bei den Backsteinbauten eine besondere Rolle (Friese, Portal- und Fenstergewände, Sockel und Kamine). (s. Bild)

Formstoffe – *Materialien, die zur Herstellung von Vorrichtungen für die Formgebung verwendet werden.* F. für Modelle, Gieß- und Eindrehformen sind Gips und alterungsbeständigere und abriebfestere Kunstharze (Polyester, Epoxidharze u. a.). F. für Formkästen bzw. Preßwerkzeuge sind verschleißfeste Stähle, Hartguß und (selten) Holz. F. für Heißpressen ist u. a. Graphit, für Preßformen zum hydrostatischen Pressen sind es verschiedene Metall- und Gummiarten.

Forsterit (Magnesiumolivin, Magnesiumorthosilicat, $Mg_2[SiO_4]$)

Kristallographie: orthorhombisch; mit Fayalit Bildung von kontinuierlichen Mischreihen

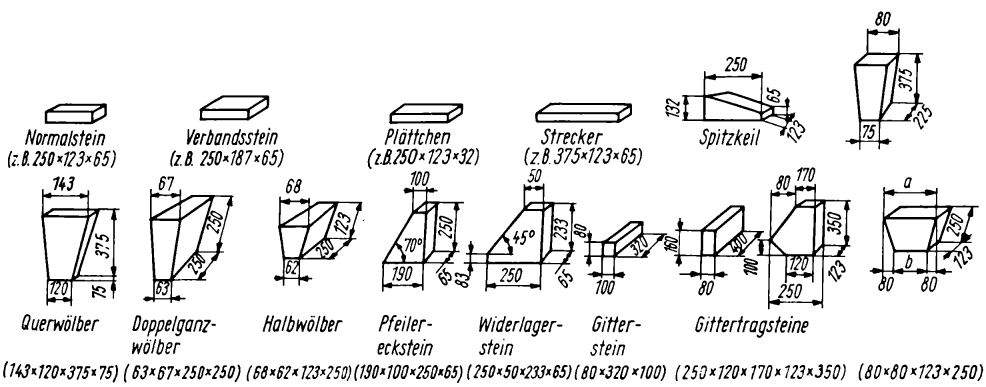
Physikalische Eigenschaften: farblos bis hellgrau; $H = 6{,}4$ bis 7; $D = 3{,}2\ g\,cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}636$, $n_\beta = 1{,}651$, $n_\gamma = 1{,}669$, $\Delta n = +0{,}033$; $T_S \approx 1\,890\,°C$. *s.* System $Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4$

Forsteritkeramik – *auf der Basis von Talk*, Dunit*, Olivin*, Serpentin*, Periklas* (Spalt-Magnesia) hergestellter dichter Werkstoff, der sich bis zu Temperaturen von 800 °C durch sehr geringe dielektrische Verluste auszeichnet.* Sein $AK_{\alpha 20\text{-}1500}$ beträgt etwa $12 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$ und kommt damit dem *AK* vieler Metalle nahe; dieser Umstand begünstigt ein vakuumdichtes Verbinden mit Metallen.

Eigenschaften (KER 250)

Rohdichte in $g\,cm^{-3}$	2,7
WA in %	0
σ_Z (unglasiert) in MPa	60
σ_B (unglasiert) in MPa	160
σ_D (unglasiert) in MPa	900
E-Modul in 10^3 MPa	120
WAK in $10^{-6}\,K^{-1}$	90 bis 120
λ in $W(m\,K)^{-1}$	3 bis 5
TWB in ΔK	110
ϱ in $\Omega\,cm$	10^{15}
Durchschlagfestigkeit in $kV\,cm^{-1}$	300
Verlustfaktor $\tan\delta$ (50 Hz) $\cdot 10^{-3}$	15

Forsteritsteine – *hochfeuerfester, chemisch neutraler Baustoff mit der Hauptkomponente Mg_2SiO_4.* Sie zeichnen sich durch gute *DFB* aus. Durch Chromerz (Chromit*) und/oder andere spinellbildende Komponenten stabilisierte F. weisen bis 1 400 °C gute *TWB* auf, während reine F. nur etwa bis 800 °C auf *TWB* beansprucht werden können. Soweit Olivine* oder andere verunreinigte Rohstoffe verwendet werden, muß ein Mindestzusatz an Periklas* in die Masse eingeführt werden, um



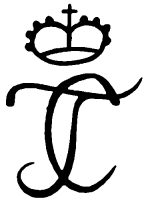
Standard-Steinformate (Silica und Schamotte für SM-Öfen. Gekürzt aus *Konopicky*; Maße als Beispiele)

das unerwünschte Eisen zu $MgO \cdot Fe_2O_3$ und überschüssiges SiO_2 zu $2\,MgO \cdot SiO_2$ zu binden.
F. sind gegen Fe_2O_3 und basische Schlacken empfindlich, da das ternäre Eutektikum $MgO-FeO-SiO_2$ bei einem Gehalt von 35 % SiO_2 schon bei 1250 °C schmilzt. Der Einsatz erfolgt vorwiegend im Gewölbe von Cu/Pb-Öfen, Gitterung und Glaswannenöfen und als Tiegel in HF-Öfen. [133, 144, 168, 169, 184]

Fotokeramik – *Aufbringen von Dekors (Fotos) auf glattgebranntes Porzellan, Steingut u. a.* Auf eine auf Glas befindliche Trägerschicht aus Gelatine, Eiweiß und Kollodium, die einen lichtempfindlichen Stoff (z. B. Kaliumdichromat) enthält, wird das Diapositiv gegeben und anschließend belichtet. Die durch das Positiv verlaufenden Strahlen erhärten die Gelatineschicht. Dagegen bleiben die nichtbelichteten Stellen weich, an denen beim nachfolgenden Überpudern die feinstgemahlenen Aufglasurfarben haften bleiben. Zum Schutz wird die gesamte Schicht mit Kollodium fixiert. Die im Wasser vorsichtig gelöste Filmschicht wird falten- und porenfrei auf die Porzellanfläche gebracht und im Dekorbrand aufgebrannt.

Frankenthaler Porzellan – *Erzeugnisse der um 1748 in Straßburg gegründeten und bald danach nach Frankenthal verlegten Manufaktur.* 1762 an den Kurfürsten der Pfalz verkauft, wurde sie 1797 zum französischen Nationaleigentum erklärt und drei Jahre später liquidiert. Die Erzeugnisse wurden geprägt von den beiden Meißener Modelleuren bzw. Malern *Lück* und *Henrici* (Exoten, mythologische Statuetten, allegorische Gruppen) und den Hofbildhauern *Linck* (porträtähnliche Büsten, Wendung zum Naturalismus) und *Melchior* (klassizistische Strenge). Die früheste Marke war PH als Blindstempel, danach ein steigender Löwe mit IAH, seit 1762 CT mit Kurhut im Unterglasurblau (s. Bild).

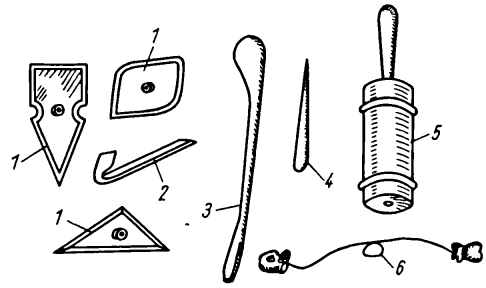
Freibrandofen (Freifeuerofen) – *direktbeheizter Tunnelofen*, in dem das Gut unmittelbar von den Abgasen umströmt wird.



Frankenthal 1755 Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Frankenthal

Freibrandtunnelofen – *direkt beheizter Tunnelofen, bei dem das Brenngut in direkter Berührung mit den Rauchgasen steht.*
Beim F. werden die Rauchgase direkt in den Brennkanal geführt und sollen dabei möglichst gleichmäßig über den Besatzquerschnitt verteilt sein. Die Rauchgase dürfen keine schädlichen Beimengungen führen. Wegen der direkten Wärmeübertragung arbeitet der F. sehr wirtschaftlich. [158]

Freidrehen – *Handformen rotationssymmetrischer Gefäße auf der Töpferscheibe* durch den Töpfer mit einfachen Arbeitsmitteln (s. Bild) ohne Verwendung von Schablonen oder Gipsformen.*



Arbeitsmittel des Töpfers (Freidrehen)
1 Drehschienen
2 Abdreheisen
3 Bauchstab zum Ausweiten des Halses bei engen Gefäßen
4 Lochholz, Stichholz
5 Handstrangpresse zum Herstellen von Henkeln
6 Abschneidedraht

Die Handgriffe zum F. umfassen (gekürzt) (s. Kunstdruckteil Bilder 24 bis 29):
1) Masseschlagen dient zum Entlüften und Homogenisieren des Tonballens.
2) Zentrieren – der auf die Töpferscheibe geworfene Tonballen wird mit beiden Händen zu einer Säule hochgezogen; dabei kommen noch Verunreinigungen und Luftblasen zum Vorschein, die beseitigt werden. Unter den feuchten Händen des Töpfers wird die Säule wieder zum Kegelstumpf herabgedrückt (Bild 24).
3) Aufbrechen – der rechte Daumen drückt in die Mitte des Tonballens und zieht den Ton auseinander; der Boden wird mit dem Daumen geglättet (Bild 25).
4) Zangengriff – der Ton läuft zwischen Daumen

und Mittelfinger, dabei wird nochmals zentriert (Bild 26).

5) Knöchelzug – er bestimmt die Höhe und Wandstärke des Gefäßes; die linke Hand greift in das entstehende Gefäß, und der rechte Zeigefinger zieht den Ton nach außen (Bild 27). Die linke Hand und der rechte Zeigefinger geben somit die Wandstärke an.

6) Schienenzug – hier entsteht die eigentliche Form; man bedient sich dabei einer Holzschiene. Die linke Hand hält wieder von innen dagegen, und die Schiene wird außen angesetzt. Durch Verwendung einer Schiene werden auf der Außenwandung keine störenden Rillen sichtbar (Bild 28).

7) Verschwammen – als letztes schwammt man innen aus und schneidet das fertige Gefäß mit einem Draht ab. Dieses Gefäß wird dann auf eine glatte, ebene Fläche zum Trocknen gesetzt. Verzierungs- und Komplettierungsarbeiten, wie Henkeln, Abdrehen oder Verputzen, können erst im lederharten Zustand vorgenommen werden (Bild 29).

Im F. werden vorwiegend kunsthandwerkliche Gegenstände hergestellt. Die maximale Höhe der geformten Gefäße liegt bei etwa 70 cm, der maximale Durchmesser bei etwa 35 cm. [548]

s. Töpferscheibe

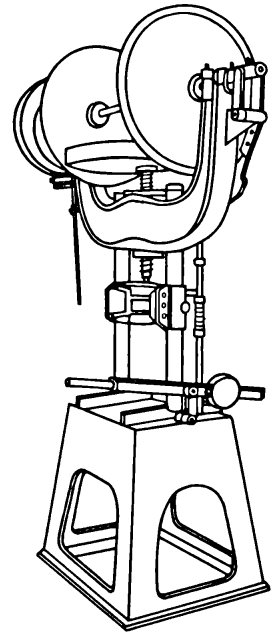
Freiluft-Isolatoren – *zusammenfassende Bezeichnung für verschiedene Isolatorentypen, die unter Spannung stehende Leiter oder entsprechende Geräte unter allen atmosphärischen Bedingungen tragen.* Es muß gewährleistet sein, daß eine bestimmte Überschlagspannung auch unter ungünstigen Witterungsverhältnissen, Regen usw., und gleichzeitiger Verschmutzung erreicht wird. Alle F. müssen deshalb mit Schutzvorrichtungen (z. B. Schirmen) ausgerüstet sein.

s. Hängeisolator, Tragisolator, Stützer

Freilufttrockenanlage – gelegentlich in Ziegeleien noch anzutreffende überdachte Schuppen, in denen auf geeigneten Vorrichtungen die Ziegel der natürlichen Luftbewegung zum Trocknen ausgesetzt sind.

***Frenkel*-Defekt** – *s.* Fehlordnung, strukturelle

Friktionsspindelpresse – *Maschine zur Formgebung halbtrockner und trockner Massen, vor allem zur Herstellung von Schamotte- und Silicaerzeugnissen sowie von Fliesen.* Friktionsräder (Reibräder) stellen ein Reibradgetriebe dar, bei dem eine stufenlose Geschwindigkeitsregelung und häufig auch Umkehrung der Drehrichtung der angetriebenen Welle bei gleichförmiger Drehbewegung der treibenden Welle möglich ist. Die F. besteht aus einem Tisch mit zwei oder vier Ständern und der eigentlichen Preßvorrichtung, oben befinden sich Traverse und Antrieb. Ein horizontal liegendes Friktionsrad erhält von zwei senkrechten Friktionsscheiben die Bewegungsimpulse, indem über ein Hebelsystem die rechte oder linke Friktionsscheibe an das Friktionsrad angedrückt wird und ihm ihren Drehsinn überträgt. Die Spindel wird dadurch gehoben oder gesenkt. Der Radius der Scheiben kann Einfluß auf die Hubhöhe des Oberstempels haben. Die F. ist heute größtenteils von der Kniehebelpresse* abgelöst (s. Bild).



Friktionsspindelpresse

Fritte (Glasurfritte)

1) Glasige Systeme, in denen wasserlösliche Salze (Soda, Borax u. a.) und toxische Stoffe (z. B. Bleiverbindungen) silicatisch gebunden und damit weitgehend in eine wasserunlösliche und ungiftige Verbindung übergeführt wurden. F. werden Glasuren (und Emails) als wasserunlösliche Rohstoffe und zur Erzielung bestimmter Effekte, wie Herabsetzung des Schmelzintervalls, den sog. Schmelz-

glasuren und gelegentlich auch Massen (z. B. Bariumfritte für alkalifreies Porzellan) zur Beherrschung des Sinterintervalls zugeführt. Für Fritteversätze, die für Glasuren bestimmt sind, gilt, daß das Verhältnis von Base zu Säure zwischen 1:1 und 1:3 liegen soll, das Verhältnis der Alkalien zu den übrigen Basen nicht größer als 1, das von B_2O_3 zu SiO_2 kleiner als 0,5 und der Faktor von Al_2O_3 in der *Seger*formel* kleiner als 0,4 sein sollen (Basen: Li_2O, K_2O, Na_2O, CaO, MgO, BaO, PbO u. a.; Säuren: SiO_2, B_2O_3, u. a.). F. werden im allg. im Wannen- oder Tiegelofen und Drehtrommelofen bei 1 200 bis 1 400 °C in oxydierender Atmosphäre erschmolzen. Die glühende Schmelze wird im Wasser abgeschreckt, wobei sie granuliert; Feinmahlung erfolgt in Naßtrommelmühlen.
2) Locker zusammengesintertes Pulver, z. B. Glasfritte für Filter.

Frittenporzellan – *ein aus Glasfritte, Sand, Kalk u. a. bei etwa 1 250 °C gebranntes (1. Brand) und anschließend in einem 2. Brand mit einer leichtschmelzenden Bleiglasur versehenes keramisches Erzeugnis, das nach seiner Genese dem Glas näher steht als dem Porzellan.* Der unbildsamen Masse werden organische Kleber u. ä. zugesetzt, um eine Verarbeitung zu ermöglichen. Durch die relativ niedrigen Sintertemperaturen ist eine reichhaltige Unterglasurmalerei möglich, die sich durch Weichheit und hohen Glanz auszeichnet. Für Gebrauchsgeschirr ist F. wegen seiner geringen TWB, geringen Resistenz der Glasur und hohen Kosten ungeeignet. F. wurde früher vorwiegend in Frankreich, Spanien und Italien hergestellt.

Frostwiderstandsfähigkeit – *Empfindlichkeit keramischer Werkstoffe – besonders von Dachziegeln – gegen die zerstörende Wirkung von Gefrier-Tauwechsel.* Da Dachziegel atmen müssen, ist eine bestimmte Porosität des Scherbens erforderlich. Damit ist aber die Möglichkeit gegeben, daß Wasser in das Porensystem des Ziegels eindringt. Beim Übergang des Wassers in Eis tritt eine Volumenzunahme von 9 % ein, die die zerstörenden Wirkungen auslöst. Entscheidend ist weniger der Gesamtporenanteil, sondern die Verteilung, Form und Größe der Poren. Jede Textur bedingt Schwachstellen. Die Frostdilatometrie gibt daher folgende Empfehlungen:

- Mindestgehalt an Poren mit einem Durchmesser >0,8 µm, wobei der Porenform (schwer füllbare Poren) besondere Bedeutung zukommt,
- Mindestgehalt der Korngrößen der Masse im Bereich 10 bis 38 µm,
- Verwendung von dichteren Zuschlagstoffen (Sand, Schamotte) und mehr Flußmittel.

Die Anwendung einer Vakuumstrangpresse statt einer einfachen Strangpresse wird nicht geraten. [133, 144, 157]

Frostwiderstandsprüfung – *Verfahren, das Aussagen über das Verhalten eines Werkstoffes bei Frost-Tau-Wechselbeanspruchung gestattet.*
1) Als schnelles Verfahren gilt die Bestimmung des *S*-Wertes (Sättigungswert). Unter Sättigung wird dabei das Vermögen des Ziegels, sich mit Wasser zu füllen, verstanden. Der *S*-Wert ist definiert:

$$S = \frac{WA_{3d}\ \text{Wasserlagerung}}{WA_{max}},$$

d. h. das Verhältnis der Wasseraufnahme nach dreitägiger Wasserlagerung zur maximal möglichen Wasseraufnahme (entweder einige Stunden Drucklagerung bei 15 MPa oder der bei 200 °C getrocknete Ziegel wird 2 h im Vakuum (≈2,5 kPa) abgekühlt und mit Wasser überschichtet). Das Material ist bei $S > 0{,}9$ frostgefährdet, bei $S = 0{,}8$ bis 0,9 frostempfindlich und bei $S < 0{,}8$ frostsicher.
2) TGL 10 149 (Prüfung von Mauerziegeln) fordert, daß die bis zur Massekonstanz getrockneten Proben im Zeitraum von 24 h allmählich in Wasser eingelagert werden. Nach 48 h Wasserlagerung werden die Proben im geschlossenen Luftraum 25mal abwechselnd dem Frost ausgesetzt und in Wasser wieder aufgetaut. Der Temperaturabfall im Frostraum ist so zu regeln, daß die Temperatur allmählich – in etwa 4 h – auf mindestens −15 °C fällt und 2 h gehalten wird. Nach jeder Frostbeanspruchung werden die Proben in Wasser von 18 °C ± 3 K wieder aufgetaut und verbleiben mindestens 1 h im Wasser. Vor jeder neuen Frostbeanspruchung sind die Proben auf Schäden zu untersuchen.

Fuchsindruckprüfung – *Verfahren zur Bestimmung der Dichtheit keramischer Werkstoffe.* Das Probematerial wird in einem Autoklaven (Druckkessel) mit alkoholischer Fuchsinlösung überschichtet und eine bestimmte Zeit lang einem hohen Druck ausgesetzt, so daß das Produkt aus Druck und Zeit = 180 Pa h (bzw. 180 N h mm^{-2}) beträgt. Nach dem Zerschlagen der trockenen Prüfkörper muß die Bruchfläche frei von Farbstoff sein (VDE 0335).

Fuge – *Nahtstelle zwischen aneinanderstoßenden Mauerwerksteilen.* Die Ausführung der F. muß mit großer Sorgfalt erfolgen, da sie die Haltbarkeit des Mauerwerks wesentlich beeinflußt. Häufig wird knirsche Vermauerung notwendig, gelegentlich sogar die Verwendung geschliffener Steine. Bei hohen Gebrauchstemperaturen empfiehlt sich die Aufteilung großer Steine in kleine Formate, um die Elastizität in den Fugen zu nutzen.
s. Dehnungsfugen

Fügen – *kraft-, form- oder stoffschlüssiges inniges Verbinden von zwei oder mehreren Werkstücken/Verarbeitungsgütern, wobei der Zusammenhalt örtlich geschaffen wird.*
An stoffverbindenden Verfahren von keramischen Teilen untereinander und von Keramik mit anderen Stoffen kommen in Betracht: Garnieren* ungebrannter Formteile, Zusammenglasieren gebrannter Teile, Kleben* gebrannter Teile, Armieren*, Metallisieren*, Bonden*, Schrumpfen*, Beschichten*, Diffusionsschweißen*, Kohlendioxid-Laser*. [14, 111, 195 bis 197]

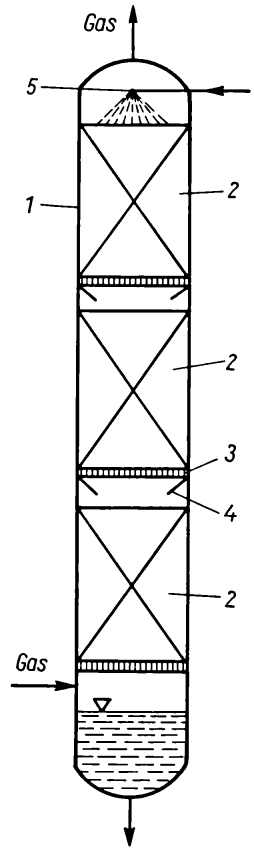
Fuldaer Porzellan – *Erzeugnisse der 1765 gegründeten, 1767 abgebrannten, nach Wiederaufbau noch bis 1790 produzierenden Manufaktur in Fulda.* Es dominierte figürliches Porzellan. Zu erwähnen sind besonders die glänzende Glasur, die sorgfältige Staffage, die technisch vollendete Malerei. Das Geschirr, meist im Stile Ludwigs XVI., ist mit den beliebtesten Szenen aus der Literatur des 18. Jh. in Camaieu bemalt. Als Marke erschien anfangs ein gleichschenkliges Kreuz, später ein Doppel-F. in Kursivschrift mit und ohne Krone.

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Fulda

Fullererde – *s.* Bleicherde

Fullerkurve – *s. Litzow*-Kurve

Füllkörperkolonne – *für die Stoffübertragung flüssig-gasförmig ausgelegte Kolonne* aus Hartporzellan oder Steinzeug, bei der aufgrund bestimmter Einbauten und Füllkörper die Phasengrenzfläche weitgehend vorgebildet wird.* An Einbauten werden eingesetzt: Lochplatten, Auflageroste, Flüssigkeitsleitböden, Tüllenverteiler; als Füllkörper werden kleine Zylinder (sog. Raschigringe) bzw. sattelförmige Körper (Berlsättel, Intaloxsättel) hinzugegeben, mit deren Hilfe eine große spezifische Oberfläche und ein großer Leerraumanteil angestrebt werden.
Die Flüssigkeit wird am Kolonnenkopf durch eine Brause (s. Bild) oder einen Verteilerboden gleichmäßig verteilt auf die Füllkörper gegeben. [391]



Schematische Darstellung einer Füllkörperkolonne mit 3 Schüttschichten
1 Kolonnenmantel
2 Füllkörperschüttung
3 Rost
4 Konus zur Ableitung der Flüssigkeit von der Wand
5 Brause

Funeralkeramik (lat.: funerare = bestatten) – Sammelbezeichnung für die Tongefäße, die beim Totenbestattungskult verwendet wurden.

Fünf-Farben-Malerei – *vielfarbige chinesische Aufglasurmalerei auf Porzellanerzeugnissen der Ming- und Quing-Zeit (14.–17. Jh.).* Die Fünf steht als symbolische Zahl für viele. Man kann drei Hauptgruppen unterscheiden:

1) Vorherrschen von Grün und Rot und gelegentliche Verwendung von Gelb, Türkis und seltener Unterglasurblau,
2) Kombinationen von Aufglasurfarben und Unterglasurblau,
3) zweifarbiger Dekor: Rot-Gold, Grün-Gold, Violett-Gelb, Rostrot-Gelb, Unterglasurblau-Gelb.

Funktionskeramik (lat.: functio = Verrichtung) – *in letzter Zeit aufgekommene Bezeichnung (per definitionem) für keramische Werkstoffsysteme, die als Träger bestimmter Eigenschaften in der Elektrotechnik/Elektronik eingesetzt werden.* Dazu zählen [368]:
- Isolationskeramik, wie Al_2O_3, Si_3N_4, BaO, MgO, AlN u. a.,
- dielektrische und ferroelektrische Keramik, wie Mg_2TiO_4, $MgTiO_3$, $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ u. a.,
- Magnetkeramik $Me_xFe_{3-x}O_4$ (Me: Ni, Mg, Co, Fe, Mn, Li u. a.),
- piezoelektrische Keramik, wie $PbO-ZrO_2-TiO_2$
- ionenleitende Keramik, wie ZrO_2, stab. ThO_2
- elektronenleitende Keramik, wie $Cu_xCo_yMn_{1-x-y}O$; SnO_{2-x} u. a.

Fürstenberger Porzellanmanufaktur – *1747 durch Herzog Carl I. von Braunschweig in Fürstenberg (Weser) gegründete Manufaktur.* Markenzeichen ist seit dem Jahr 1753 bis heute das unterglasurblaue »F« (s. Bild). Bereits im ersten Jahrzehnt

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Fürstenberg

ihres Bestehens entstanden eine Vielzahl unterschiedlich geformter Kaffee- und Teeservices sowie eine breite Palette von Zierartikeln und Figuren. Der berühmteste Modelleur, *Simon Feilner*, schuf in dieser Zeit die bekannten Gruppen »Commedia dell'Arte« und »Die große Bergbande«, den »Traubenpfeiler«, die Pferdeplastiken mit »Türk« und »Mohr« u. a. m. Bis 1760 erweiterte sich das Programm mit großen Tafelserviceformen (Seckendorff-Service), die von *Johann Christof Rombrich* entworfenen Formen »mit graviertem Muster« sowie das später als »Suermondt-Service« bekannt gewordene Modell.
Zwischen 1760 und 1770 entwickelte sich die Malerei zu hoher Qualität; hervorzuheben sind hierbei *Pascha Weitsch, Johann Heinrich Eisenträger* und *C. G. Albert*. Seit Beginn der siebziger Jahre arbeitete die Manufaktur mit wirtschaftlichem Gewinn.
Den Stilwechsel vom Rokoko zum Klassizismus konnte die F. P. mit zahlreichen neuen Modellen belegen. Große Sätze von Deckelvasen und Potpourris sowie die umfangreiche Serie der Biskuitbüsten berühmter Zeitgenossen und nach antiken Vorbildern waren besondere Leistungen im ausgehenden 18. Jahrhundert. Die bekannten Figurengruppen von *Desoches*, wie die »Kaffeegesellschaft« (1771) und die »Vier Jahreszeiten« (1773) sowie zahlreiche Figurenmodelle von *Johann Christof Rombrich, Anton Carl Luplau* und *Carl Gottlieb Schubert* rundeten das Programm ab.
Zu Beginn des 19. Jh., unter der Leitung von *Louis Victor Gerverot*, bestimmte der Empirestil die Produktion der Manufaktur. Später dekorierten bekannte Maler wie *Ludwig Sebbers* und *Christian Eli* die Modelle der Biedermeierzeit.
Seit Beginn des 20. Jahrhunderts bis zur Gegenwart prägt sowohl die Wiederbelebung der alten historischen Formen als auch die Produktion neuer, moderner Modelle das Bild der Manufaktur. In den dreißiger Jahren und danach entstanden funktionsbetonte Serviceformen, u. a. von *Wilhelm Wagenfeld, Bodo Kampmann, Ernst-August Sundermann* und *Wolfgang Müller-Deisig*. Ferner wurde der Bereich des Zierporzellans stark erweitert. (s. auch Bilder 8 und 9, Kunstdruckteil)
Die F. P. führt ihre Produktion noch heute am gleichen Standort wie vor 240 Jahren fort. Eine grundlegende Erneuerung der Betriebsstätten fand vor allem in den siebziger Jahren statt. Die alte Schloßanlage dient seit 1976 ausschließlich als Ausstellung und Museum.

Fußbodenplatte – *im Trockenpreßverfahren hergestellte Platte aus Feinsteinzeug mit dichtem Scherben, einfarbig oder gemustert (Mosaikplatte).* Die Vorderseite kann glatt, rauh oder profiliert sein. Die Brenntemperatur beträgt 1150 bis 1300 °C (bis zum Sintern). Eine Grau- und Grünfärbung der F. erfolgt durch Chromeisenstein, eine Grau- und Schwarzfärbung durch Pyrolusit (MnO_2), eine blaue, hellblaue und grüne Färbung durch einen Zusatz von Cobaltoxid. Zinkoxid kann die Farbintensität erhöhen. Roteisenstein mit einer kleinen Menge Cobaltoxid ergibt Violett.

G

Gadoliniumoxid (Gd_2O_3) – weißes, kubisch kristallisierendes hygroskopisches Pulver; $D = 7{,}4\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2\,330 \pm 20\ °C$; setzt sich in Wasser langsam zu $Gd(OH)_3$ um.
G. wird in geringen Mengen (1 bis 5 Gew.-%) als sog. »abtrennbares Gift« UO_2-Mischungen zugesetzt. Dadurch wird die höhere Reaktivität am Beginn eines Reaktorzyklus verringert und später dem Reaktivitätsverlust, der durch die Spaltung des Urans hervorgerufen wird, entgegengewirkt. [133]

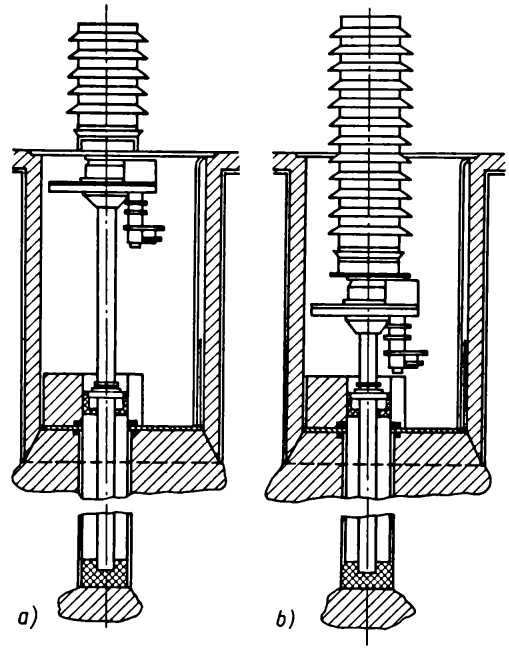
Gahnit (Zinkspinell, $ZnO \cdot Al_2O_3$)
Kristallographie: kubisch
Physikalische Eigenschaften: farblos bis dunkelgrün; $D = 4{,}58\ g\ cm^{-3}$; $H = 7{,}5$ bis 8; *o. D.:* $n = 1{,}780$, 1,805; schmilzt kongruent bei 1 925 °C.
G. bildet sich in Zinkmuffeln, die mit tonerdereichen Steinen ausgekleidet sind.

Ganister – feinkörniger Sandstein mit geringer toniger Bindung.

Garbrand (Gutbrand, Scharfbrand) – *Phase im Prozeß der Sinterung* eines keramischen Erzeugnisses mit der höchsten erforderlichen Temperatur.* In der Garbrandphase bildet sich das Gefüge* des Werkstoffs heraus, d.h., es laufen die verschiedenen Reaktionen, die zur Scherbenbildung, zur Verdichtung und zur Verfestigung des Erzeugnisses führen, mit relativ hoher Geschwindigkeit ab. [111, 144, 222, 223]
s. Festkörperreaktionen, Diffusion, Schmelzen, Rekristallisation

Gardner-Porzellan – Erzeugnis der von *Francis J. Gardner* 1776 in Werbilki, Rayon Dmitrow, gegründeten Fabrik, der zweitältesten des damaligen Rußlands. In Anlehnung an Thüringer Vorbilder zeigten die besten Stücke gegen Ende des 18. und Anfang des 19. Jh. bereits nationalen Charakter, z.B. russische Genredarstellungen in Figurenporzellan. Die Farbgestaltung lehnte sich eng an die russische Malerei an.

Garnieren – *mechanisches Zusammenfügen von gegossenen oder gedrehten Einzelstücken mit Hilfe von arteigener Masse – dem sog. Garnierschlicker – im lederharten Zustand (12 bis 15 % H_2O) zum eigentlichen Formkörper.*
Die zu verbindenden Flächen müssen sorgfältig paßgerecht geschnitten sein, der Feuchteunterschied der Einzelteile muß bei < 1 % liegen. Das im Schlicker enthaltene Wasser wird dann gleichzeitig von beiden zusammengedrückten Stücken aufgesaugt. Der fertig garnierte Gegenstand darf keine Ansatzstellen oder eventuelle Gußnähte erkennen lassen, damit im Brand ein vollkommen einheitlicher Körper entsteht.
Garniert werden z.B. in der Feinkeramik Henkel an Tassen, Schneppen an Kannen, in der Steinzeugindustrie Rohrabzweigungen aus vorgefertigten Rohrstücken, in der Feuerfestindustrie bestimmte Formsteine, in der Hochspannungskeramik Großkörper, die nicht mehr aus einem Stück durch Kopieren hergestellt werden können. Hier erfolgt das G. der durch Eindrehen* geformten Segmente meist auf sich langsam drehenden Garnierspindeln. Man hat dann die Möglichkeit, das koaxiale Zusammenfügen laufend zu kontrollieren. Für sehr hohe Stücke ist die Spindel auf einer Absenkbühne angeordnet (s. Bild), die bei zunehmender Höhe abgesetzt wird. Die Arbeit kann



Garnierspindel mit hydraulischer Absenkbühne zum Garnieren von Großkörpern
a) obere Stellung
b) teilweise abgesenkte Garnierscheibe mit dem aufgebauten Körper

dann in gleicher Höhe ausgeführt werden. Im allgemeinen ist G. einer umfassenden Mechanisierung schwer zugänglich und wird deshalb auch heute noch von Hand ausgeführt. Bei den in der Feinkeramik eingeführten Garniermaschinen müssen z. B. die Garnierteile noch manuell eingelegt und ebenso die garnierten Artikel manuell verstrichen werden; lediglich Putz- und Verschwammanlagen sind in verketteten Fließlinien vollintegriert.

Gelegentlich werden auch verglühte Teile garniert. In diesen Fällen verwendet man anstelle von Masseschlicker Glasurschlicker. Man sollte deshalb besser von Zusammenglasieren sprechen. [14, 39, 51, 128]

Garniermaschine – *Vorrichtung zum mechanischen Ansetzen von Henkeln an Becher, Terrinen u. dgl.*, wobei das Verputzen und Verschwammen in den Arbeitsgang mit einbezogen werden. Nach Benetzen bzw. Bespülen der Ansatzstellen von Henkel bzw. Becher werden beide Teile zusammengeführt, angedrückt, anschließend verputzt und verschwammt.

Gasdurchlässigkeit (Permeabilität) – *infolge durchgehender Poren bzw. Kanäle mögliche Durchlaßfähigkeit keramischer Werkstoffe für Luft oder andere Gase.* Zur Bestimmung der G. werden auf zwei gegenüberliegenden Seiten des plattenförmigen Prüflings zwei Glastrichter mit definiertem oberen Querschnitt mittels Paraffins aufgekittet und die freien Flächen abgedichtet. Der Trichter für die Gaszuführung wird über einen Druckmesser an eine Luftpumpe, der Ableitungstrichter über Druckmesser an ein Eudiometer (Glasröhre zum Messen von Gasvolumina) oder an eine Gasuhr angeschlossen. Gas kann auch bei konstantem Unterdruck durch den Prüfkörper gesaugt werden. Die Durchlaßfähigkeit D ist als Werkstoffkonstante durch die *Darcy*sche Gleichung definiert:

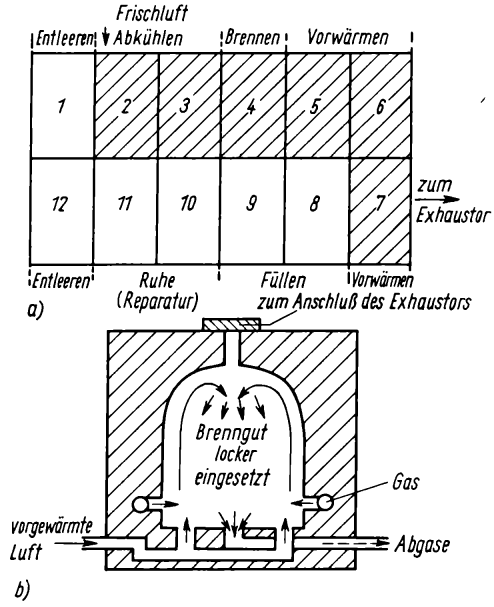
$$D_S = \frac{v\,\eta\,l}{A\,\Delta p}$$

D_S spezifische Gasdurchlässigkeit (in m^2)
v Strömungsgeschwindigkeit (in $m^3\,s^{-1}$)
η Zähigkeit des Gases (z. B. $\eta_{Luft} = 1{,}78 \cdot 10^{-3}$ Pa s)
l Länge (Dicke) des durchströmten Probekörpers (in m)
A Querschnitt des durchströmten Probekörpers ($\perp l$; in m^2)
p Druckgefälle im Probekörper (in Pa).

Dichte Schamottesteine weisen eine spezifische Gasdurchlässigkeit von 0,1 bis 0,7 pm^2 auf, weniger dichte bis 3,5 pm^2. Messungen der G. erlauben Aussagen über die Textur der Werkstücke. Außerdem gibt ihre Größe bei feuerfesten Werkstoffen Hinweise auf Korrosionsbeständigkeit und *TWB*. [144, 169, 340]

Gaskammerofen – Einkammerofen mit einem Brennraumvolumen von etwa 25 bis 100 m^3 und Höhen bis zu 6 m, so daß das Abstellen des Brennguts auch mittels Gabelstaplers erfolgen kann. Die Rauchgase werden durch die in der Ofensohle befindlichen Füchse in den Rauchsammler gezogen. Im Rauchgassammelkanal befindet sich der Rekuperator. Hier wird die Verbrennungsluft durch die heißen Rauchgase erwärmt (Gegenstromprinzip) und durch eine Ringleitung zu den einzelnen Wirbelstrombrennern geführt. Es wird mit überschlagender Flamme gearbeitet. In G. werden zur Beheizung gereinigtes Generatorgas, Ferngas, Erdgas oder auch Öl verwendet.

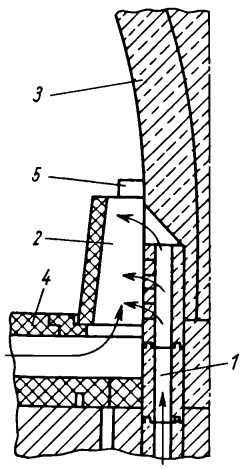
Gaskammerringofen – *aus dem Ringofen entwickelter, kontinuierlich arbeitender, mit Generatorgas, Ferngas u. a. betriebener Ofen* zum Brennen von Verblendern, Dachziegeln, Elektroporzellan und Schamotte (s. Bild *a*). Der G. besteht aus einem



a) Gaskammerringofen (Schema)
b) Schema einer Kammer

endlosen Brennkanal, der in Kammern (s. Bild *b*) unterteilt ist. Das Heizgas wird dem Ofen von außen über eine Ringleitung zugeführt, entweder durch Öffnungen in der Ofensohle, wobei es mit aufsteigender Flamme brennt, oder es wird so geleitet, daß eine überschlagende Flamme entsteht. Die zur Verbrennung notwendige Luft strömt durch die Kammern, die den Brand beendet haben, kühlt das gebrannte Gut ab und erhitzt sich dabei selbst. Die Rauchgase werden in die nächste Kammer geleitet; wo sie die dort bereits gesetzte Ware vorwärmen. Das Feuer wandert durch alle Kammern. Jede Kammer dieses variabel einsetzbaren Ofens kann für sich oxydierend oder reduzierend gebrannt werden.

Gaspfeife – am unteren Teil gasbeheizter keramischer Öfen befindliche Vorrichtung, die den Eintritt des Heizgases in die Brennkammer ermöglicht und auf Grund ihrer Konstruktion für eine günstige Verteilung des Flammenschleiers sorgt (s. Bild).



Gaspfeife im Kammerringofen
1 Gas
2 Verbrennungsluftaustritt
3 Ofengewölbe
4 Herdsohle
5 Ofenraum

Gasphasenabscheidung – Bei der Abscheidung aus der Gasphase ist zu unterscheiden zwischen:

- physikalischer G. PVD* (physical vapour deposition); hier erfolgt der Materialtransport und die Bildung des Überzugs durch physikalische Prozesse (s. Sputtern, Bedampfen),
- chemische G. CVP* (chemical vapour deposition); hier bilden sich die abzuscheidenden Stoffe entweder durch thermische Zersetzung einer einzigen Verbindung oder durch Umsetzungen mehrerer Reaktanden.

Gassensoren, keramische – *Metalloxidhalbleiter, deren Wirkungsweise auf der gasinduzierten Desorption von absorbiertem Sauerstoff beruht.* Absorbierter Sauerstoff bindet an Oberflächen, besonders an Korngrenzen, Elektronen, was zu einem Ansteigen des Widerstandes in diesen Schichten führt. Das nachzuweisende Gas reagiert an der Oberfläche mit dem Sauerstoff; durch thermische Anregung wird das gebundene Elektron in das Leitungsband abgegeben, was nunmehr zu einer Erniedrigung des Widerstandes führt. Als nächster Schritt muß für die Desorption des Verbindungsgases (z. B. Ausheizen) gesorgt werden, damit für weitere Sensibilisierungen die Oberflächenstellen für erneute Sauerstoffanlagerungen bereitstehen.

K. G. werden meist in Perl- oder Rohrform ausgeführt, in einer einfachen Ausführung sind in einem Halbleitersinterkörper ein oder zwei Elektroden und eine Heizwendel eingebracht. Als Werkstoffe kommen vorzugsweise ZnO-, TiO_2- und SnO_2-Keramiken mit spezifischen Dotierungen zum Einsatz. [371]

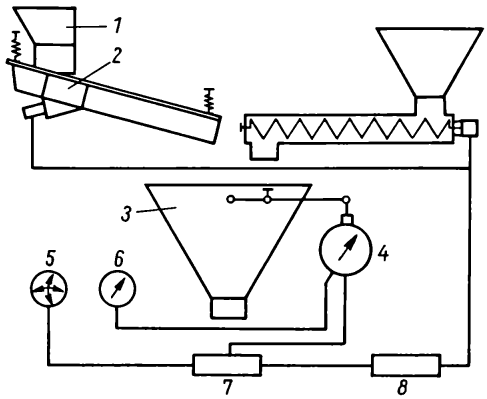
s. Festelektrolyte, Abgasanalyse, Rauchgassensoren

Gattieren – *Herstellen eines Gemenges durch zeitlich aufeinanderfolgendes Einbringen der verschiedenen Komponenten in bestimmten Mengenverhältnissen in ein Sammelgefäß.*

G. wird in der Keramik meist mit sog. Gattierungswaagen* ausgeführt.

Gattierungswaage – *unter einer Bunkeranlage verfahrbare Waage,* die die einzelnen Schüttgutanteile aufnimmt und dann über eine Bodenklappe an die nachgeordnete Verarbeitungsmaschine oder Förderanlage weitergibt (s. Prinzipskizze S. 172). [112, 325, 369]

Gedächtnis der Massen – *Rückverformung keramischer Massen.* Verformte keramische Massen streben beim Trocknen häufig wieder die Gestalt an, die sie vor der Formgebung besaßen. Diese Rückbildung wird so gedeutet, daß der Vorgang der Verformung sich aus einer bildsamen und einer elastischen Komponente zusammensetzt. Der elastische Anteil bewirkt eine sofortige Rückverformung bei Entlastung. Während des Trocknens tritt eine weitere Rückverformung ein, wobei die Teilchen die energetisch günstigeren Lagen aufsuchen. Die Lagen befinden sich meist in den Richtungen des Ausgangszustandes. Mit steigen-

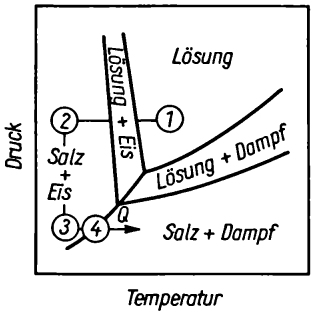


Prinzip einer Gattierungswaage, Bauart Wägetechnik Rapido

1 Silo
2 Zuführeinrichtung
3 Wägebehälter
4 Federanzeigekopf
5 Sollwerteinsteller
6 Fernanzeige
7 Schaltgerät
8 Steuerung

dem Anteil an Magerungsmitteln wird dieser Effekt vermindert, und beim Brennen ist im allg. mit beginnender Brennschwindung keine Rückbildung mehr zu beobachten.

Gefriertrocknung – *eine besondere Form der Trocknung*, bei der die gefrorene Gutsfeuchte unter vermindertem Druck direkt aus dem festen Zustand in den gasförmigen (Sublimation) übergeht.* Die G. ist für die anorganische Synthese im Prinzip in 4 Teilschritten festgelegt (s. Bild):



Prinzip der Gefriertrocknung

1) Herstellen einer Lösung, die die gewünschten Kationen im erforderlichen Verhältnis enthält (Punkt *1*); zur Gewinnung oxidischer Pulver werden lösliche Salze von Sauerstoffsäuren, im allgemeinen Sulfate, eingesetzt,

2) Einfrieren (Punkt *2*); um die homogene Verteilung der Komponenten in der Lösung zu erhalten, muß der Einfriervorgang sehr schnell erfolgen (z. B. durch Einsprühen in flüssiges N_2),

3) Vakuumtrocknung; der Druck wird erniedrigt bis zu einem Wert unterhalb des Quadrupelpunktes *Q* (Punkt *3*),

4) Sublimation des Eisens und Zersetzung des Salzes zu Oxid; dazu wird dem System Wärme zugeführt, wobei die Temperatur bis zur Phasengrenze steigt (Punkt *4*); dort bleibt sie konstant, bis das gesamte Eis in Wasserdampf überführt ist.

Außer Lösungen können auch sehr feinkörnige Suspensionen gefriergetrocknet werden. Nach *Büttner* und *Wiegand* [106] können Oxide mit großer spezifischer Oberfläche aus Sulfaten nur dann hergestellt werden, wenn der Sinterprozeß eine hohe Aktivierungsenergie erfordert und damit wesentlich höhere Temperaturen angestrebt werden müssen, als sie zur Zersetzung der Salze notwendig sind (s. Tabelle nach [106]). Besonders günstig

BET-Werte gefriergetrockneter Substanzen, die bei verschiedenen Temperaturen zersetzt wurden

Zersetzungstemperatur in °C	Spezifische Oberfläche in $m^2 g^{-1}$			
	$Al_2(SO_4)_3$	$MgAl_2(SO_4)_4$	$FeSO_4$	$NiFe_2(SO_4)_3$
unzersetzt	17,5	9,64	16,9	12,16
600	–	–	12,4	–
700	–	–	21,8	–
800	28,3	–	6,9	–
900	145,7	55,25	5,7	9,4
1000	144,8	54,13	3,7	–
1100	118,2	31,26	2,5	–

ist die G. für die Verteilung geringer Dotierungen, da auch kleinste Substanzmengen in Lösungen homogen verteilt werden können und bei G. homogen verteilt bleiben. Allgemein ist die G. kostenaufwendig.

Gefüge – *Art, Anzahl, Form und Anordnung der Phasen eines Werkstoffes bzw. Festkörpers*.*

Zur Charakterisierung des G. wird üblicherweise von drei Gruppen von Elementen ausgegangen:

- kristalline bzw. glasige Phasen als formbeständige Elemente,
- gasförmige Phasen, wie Lunker, Blasen und im

weiteren Sinne auch Korngrenzen und Versetzungen, als bedingt beständige Elemente,
- Koordinatensysteme (Indikatrix*) – in Kristallen Kristallachsen, optische Achsen, in größeren Bereichen die Achsen eines Beanspruchungssystems (mechanische, piezoelektrische u. a.).

Aus dem Zusammenwirken dieser drei Gruppen mit dem Oberbegriff G. werden abgleitet:

1) Struktur (lat.: struo, struxi, structum = aufbauen)

Im engeren Sinne versteht man darunter das Atomarrangement in einer Phase und im weiteren Sinne als Folge der Wechselwirkungen der G.-elemente eine Zusammenfassung von Kornform, -größe und -verteilung der Gesamtheit der Bauelemente eines Werkstoffes/Festkörpers.

2) Textur (lat.: texo, texui, textum = flechten)

Sie beinhaltet die Orientierung einzelner oder Gruppen von Bauelementen, die Porosität zur Charakterisierung des Grades der Raumerfüllung und Homogenität* eines Werkstoffes/Festkörpers sowie die Kornbindung, die den Kontakt der einzelnen Bauelemente untereinander bewirkt.

Das G. keramischer Werkstoffe wird durch den Herstellungsprozeß, d. h. die Art und die Form der Rohstoffe*, ihre Aufbereitung*, Formgebung* und thermische Behandlung bestimmt. Verallgemeinert kann man sagen, die Eigenschaften eines keramischen Werkstoffes werden durch seine stoffliche Zusammensetzung und durch seine Gefügebeschaffenheit festgelegt. Daher gehören Gefügeanalysen* zu den ständigen Untersuchungen keramischer Materialien. [168, 187, 188]

Gefügeanalyse – *Verfahren zur Erfassung und Beurteilung der Gefügeelemente.*

Im einzelnen gehören zu einer G. mineralogisch-petrographische Untersuchungsverfahren zur qualitativen und quantitativen Erfassung des Phasenbestandes, wie Licht- und Elektronenmikroskopie, Röntgenanalyse, thermische Analysen, stereologische Analysen sowie Permeabilitätsmessungen. Wegen der Komplexität des Gefüges sind oft mehrere Verfahren zusammenfassend auszuwerten. [14, 94, 168]

Gefügeinhomogenitäten – *Fehler, inbesondere Risse im Gefüge* spröder Werkstoffe, die wesentlich für die Diskrepanz zwischen theoretischer Trennfestigkeit* und gemessenen Festigkeitswerten verantwortlich sind.* Die Hauptursache der G. liegt in der Körnigkeit der Rohstoffe. Sie läßt auch bei darauf abgestimmter keramischer Technologie ein vollkommen homogenes Werkstoffgefüge nicht erreichen.

Der Spannungsintensitätsfaktor* K_{Ic} liegt für metallische Gußwerkstoffe bei 40 MPa $m^{1/2}$, für keramische Werkstoffe etwa bei 4 MPa $m^{1/2}$. Geht man von der bruchmechanischen Grundgleichung $\sigma_B = K_{Ic}/\sqrt{a_c}$ aus, so heißt das, der bruchauslösende Fehler für keramische Werkstoffe muß um den Faktor 100 kleiner sein als der für metallische Werkstoffe. Bei einer geforderten Bruchfestigkeit von 600 MPa für keramische Bauteile muß danach die zulässige Rißlänge bzw. effektive Fehlergröße vom typischen 1 mm auf Fehler < 10 µm reduziert werden.

Die Begrenzung der maximalen Fehlergröße kann auf verschiedene Weise angestrebt werden. *Harbach* und *Weiler* machen dazu folgende Vorschläge:

1) Erhöhung der effektiven Festigkeit eines keramischen Bauteils durch Aufbau einer Vorspannung:
- Druckspannungen über die Oberfläche durch Einstellung der Glasur auf $\alpha_{Glasur} < \alpha_{Scherben}$;
- oberflächlicher Ionenaustausch (s. Chemcor-Prozeß); oberflächennahe Einlagerungen, bei denen nach dem Brande im Oberflächenbereich eine Phasenumwandlung von großer zu kleiner Dichte ausgelöst wird;
- Faserverstärkung; Vorspannung der Faser* auf Zug entweder von außen oder über $\alpha_{Faser} > \alpha_{Matrix}$ bzw. $E_{Faser} > E_{Matrix}$.

2) Erhöhung der Festigkeit eines keramischen Bauteils über eine Erhöhung des Spannungsintensitätsfaktors K_{Ic} durch
- duktile Einlagerung (Cermets*),
- spannungsinduzierte lokale Phasenumwandlungen,
- Mikrorißbildung über inhomogene oder anisotrope thermomechanische Spannungen,
- Eigen-Faserverstärkung.

3) Erhöhung der Festigkeit eines keramischen Bauteils über eine Verkleinerung der Fehlergröße a_c durch
- Verringerung der Korngröße,
- nasse Formgebung aus möglichst feiner Suspension,
- Verminderung von Prozeßfehlern,
- zerstörungsfreie Prüfungen.

[399, 512]

Gefügespannungen – *s.* Spannungen

Gehlenit ($Ca_2Al[(Si,Al)_2O_7]$) – *Mineral der Melilithgruppe.*
Kristallographie: tetragonal
Physikalische Eigenschaften: weißgrau; $D = 2{,}9$ bis $3{,}0\,g\,cm^{-3}$; $H = 5$ bis 5,5; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}669$, 1,685, $n_\varepsilon = 1{,}658$, 1,675, $\Delta n = -0{,}011$, $-0{,}010$; $T_S = 1\,590\,°C$
G. kommt natürlich selten vor; Schlackenneubildung.

Gel (lat.: gelum = Erstarrung) – *Aggregationskolloid, d. h. lyophiles, disperses System, bei dem die disperse Phase netzartig im Dispersionsmittel angeordnet ist.* Wird der Kapillarraum von Wasser ausgefüllt, spricht man von *Hydrogel* (Gallert), sonst allgemein von *Lyogel.* Durch Schütteln, Erwärmen oder mittels Ultraschalls können G. in Sole umgewandelt werden. Bei der Rückwandlung werden Hystereseeffekte beobachtet.
Getrocknete G. nennt man *Xerogele**, z. B. Gelatine, Agar-Agar. Diese lassen sich unter Hystereseerscheinungen in Hydrogele zurückverwandeln, Kieselgel dagegen nicht.

Gelatine (Xerogel; lat.: gelare = zum Gefrieren bringen) – *Gemisch von verschiedenen Eiweißstoffen,* das durch Hydrolyse von Kollagenen aus Knochen und Bindegeweben gewonnen wird. Vom Leim unterscheidet sich G. durch ihren Reinheitsgrad und das Fehlen von Bakterien. G. ist ein Binder für Glasuren und oxidkeramische Massen.

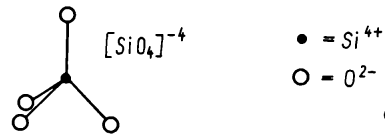
Gemenge, saure – *Sammelbezeichnung für ungeformte feuerfeste Stampf-, Spritz-, Torkretier-, Flickmassen, die entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung zu den Feuerfesterzeugnissen mit hohem SiO_2-Gehalt gehören.* Als Rohstoffe kommen Quarzit- und Silicabruch (seltener Flint) in Betracht.

Geraer Porzellanmanufaktur – 1779 in Gera-Untermhaus durch *Ewaldt* und *Gottbrecht* gegründetes Unternehmen, das 3 Jahre später ein Filialunternehmen von *Volkstedt* wurde. Hergestellt wurden in durchschnittlicher Ausführung Formen des klassizistischen Stils, Einzeltassen für Geschenkzwecke mit Thüringer Ansichten, Silhouetten, Nachbildungen von Kupferstichen auf holzartig gemasertem Grund sowie figürliches Porzellan (Putten, ländliche Typen). Die Marke war anfangs ein »G« unter der Glasur, später »Gera« unterstrichen in Rot auf der Glasur (s. Bild). Der Betrieb stellte 1915 seine Produktion ein.

Marke der Porzellanmanufaktur Gera

Gera 1780

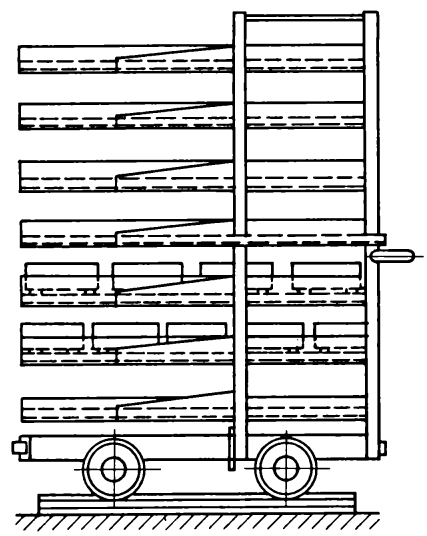
Gerüstsilicat (Tectosilicat) – *dreidimensionales Gerüst von SiO_4-Tetraedern* (s. Bild). G. bilden der



Gerüstsilicat

Quarz und seine Modifikationen $SiO_{4/2} = SiO_2$. Jedes Sauerstoffion ist räumlich mit zwei Si^{4+}-Ionen verbunden. Bei den anderen G. ist immer ein Teil der Si-Ionen durch Al^{3+} ersetzt, das auf Grund seiner Größe gut im Innern des Sauerstofftetraeders Platz findet. Die freie Valenz wird dann durch Kationen (Alkalien, Erdalkalien) abgesättigt, die in den Hohlräumen des Gerüstes Platz finden.
Beispiel: Kalifeldspat $K(AlSi_3O_8)$

Gerüstwagen – *Transportwagen für die auf geeigneten Trägern liegenden Formlinge zum Transport durch die Durchlauftrockner.* Im allgemeinen sind die Etagenarme nicht heb- und senkbar, auch ein eigener Fahrantrieb fehlt. Die G. können von der Beladestelle zur Trockenanlage mit einer Schiebebühne gefahren werden (s. Bild).



Gerüstwagen

Gesamtstrahlungspyrometer – *Temperaturmeßgerät, bei dem mittels Linse oder Hohlspiegels die Gesamtstrahlung auf dem geschwärzten Meßfaden eines Thermoelements konzentriert ist.* Als Gesamtstrahlung versteht man dabei die gesamte, von einer Strahlungsquelle je cm^2 Strahlerfläche und je s ausgestrahlte Energie, wobei alle Wellenlängen des Spektrums vom Infrarot bis ins Ultraviolett erfaßt werden. Nach dem Gesetz von *Stefan/Boltzmann* wird vom Meßgegenstand auf das geschwärzte Thermoelement (Blättchen) die Energie

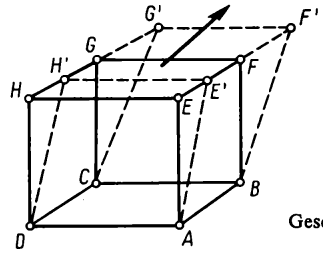
$$W_{Zu} = W_s = C_s A \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

W_s in der Zeiteinheit abgestrahlte Energie des schwarzen Strahlers bei der Temperatur T_1
C_s Strahlungskonstante
A am Strahlungsaustausch beteiligte Fläche
T_2 Temperatur des Meßfühlers

zugeführt.
Den prinzipiellen Aufbau eines G. zeigt das folgende Bild.
Die im G. durch Erwärmung entstehende Thermospannung wird mit einem Galvanometer gemessen. Wenn bekannt ist, wie weit die Strahlungsquelle bei der jeweils herrschenden Temperatur vom Verhalten des schwarzen Strahlers abweicht, kann die Anzeige des Galvanometers direkt in °C erfolgen. Nach Bedarf kann die Thermospannung auch als Meßsignal für Steuer- und Regelzwecke weiterverarbeitet werden. [22, 362]
s. Pyrometer, Strahlungspyrometer

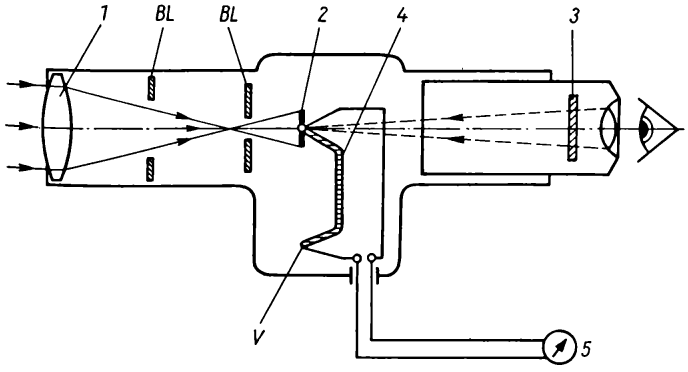
Geschirr, kochfestes – *Haushaltgeschirr aus keramischen Werkstoffen, das in der Regel zum Erhitzen von Speisen dient.* Die Masse besteht aus Ton, der entweder mit grobkörnigem (splittrig besser als rundes Korn) Quarz in den Kornklassen 50 bis 100 µm und Anteilen von 30 bis 40 % ebenso grober Schamotte gemagert ist, oder es wird auf Cordieritbildung mit Hilfe von Talk, synthetischem Entstatit u. a. gezielt. Die *TWB* wird durch einen möglichst niedrigen Ausdehnungskoeffizienten des Scherbens, durch verrundete Kanten, Vermeidung ebener Flächen (Boden des Gefäßes ist geriffelt oder gewellt) erreicht. Gewöhnlich ist k. G. mit einer bleifreien Steingutglasur überzogen.
s. Cordieritkeramik

Geschwindigkeitsgefälle (Schergeschwindigkeit, *D*) – *Ableitung der Geschwindigkeit in einer eindimensionalen Scherströmung nach der zur Geschwindigkeitsrichtung senkrechten Raumkoordinate dv/dy.* Im Bild deformiert die Schubkraft den Aus-



Geschwindigkeitsgefälle

gangskörper ABCDEFGH zu ABCDE'F'G'H'. Als Schubdeformation wird das Verhältnis der Relativbewegung der beiden Ebenen ABCD und EFGH, bezogen auf ihren Abstand, definiert, d. h., die Schubdeformation γ ist durch das Verhältnis EE'/AE bestimmt.
Das G. wird dann lediglich durch das Verhältnis EE'/AE · t bestimmt (t = Zeit). Man kann das G. auch als einen Gradienten ansehen; es hat dann



Aufbau eines Gesamtstrahlungspyrometers (Lehrmaterial für das Ingenieur-Fernstudium, »Meßtechnik«, IfF 105.21-05)
1 Objektiv
2 Strahlungsempfänger
3 Rotfilter (Augenschutz)
4 Meßstelle des Spezialthermoelementes
5 Galvanometer
BL Blende
V Verbindungsstelle

als Geschwindigkeit je Längeneinheit die Maßeinheit s^{-1}. [134]

Gespannsteine – *bildsam hergestellte Hohlsteine auf der Basis von saurer Schamotte.* Zu den G. zählt man: Trichter, Trichterrohre, Königsteine (Verteilersteine), Kanalsteine u. a. Beim steigenden Guß durchströmt der flüssige Stahl die G. auf dem Wege vom Pfannenausguß bis zur Kokille. G. werden nur für einen Guß verwendet und gehören daher zum Stahlwerksverschleißmaterial.

Gestaltabweichungen – *Gesamtheit aller Abweichungen der Istoberfläche von der geometrisch idealen Oberfläche nach Formgebung und/oder Brand.*

Allgemein wird zwischen gröberen und feineren Abweichungen unterschieden; üblich ist eine Unterscheidung in 6 Ordnungen:

1. Ordnung: Formabweichungen von Ebene, Kreis, Parallelität, Rechtwinkligkeit u. a.

2. Ordnung: Welligkeit*

3. Ordnung: Rillen

4. Ordnung: Riefen, Schuppen, Kuppen

(Die 3. und 4. Ordnung werden als Oberflächenrauhigkeit* zusammengefaßt.)

5. Ordnung: Veränderungen der Oberfläche durch chemische Einwirkungen, Korrosion*, Gefüge*

6. Ordnung: Physikalische und chemische Vorgänge im Aufbau der Materie, Spannungen und Gleitungen im Kristallgitter.

G. keramischer Erzeugnisse können die verschiedensten Ursachen haben, z. B. die Pulvernatur der Rohstoffe, das Anisotropieverhalten der kristallinen Phasen, ungleichmäßige Verdichtung der Formlinge, unterschiedliche Schwindungen, Nichtbenetzen bzw. schlechtes Benetzen beim Mitwirken von Flüssigkeiten beim Sinterprozeß, Diffusionsbarrieren, Schwingungen in den Formgebungsmaschinen, Fehler in der Führung von Werkzeugmaschinen, Durchbiegungen durch falsche Einspannungen, Verschleiß der Maschinen und Formgebungswerkzeuge, Reißspuren, falscher Vorschub oder Reibung der Werkzeuge u. a.

Gestaltfestigkeit

1) Besonders bei spröden Werkstoffen bestehende Abhängigkeit der Festigkeit von der Form des Prüflings. Während Metalle in der Lage sind, Spitzenbelastungen an Kerbstellen durch plastisches Dehnen weitgehend auszugleichen, ist das bei spröden Stoffen nicht möglich. Vorrichtungen aus spröden Werkstoffen müssen daher einen höheren Sicherheitsfaktor aufweisen als dehnbare (auftretende Zugspannungen sollen nur 1/20 der Zugfestigkeit betragen).

2) Widerstand einer Konstruktion gegen äußere Kräfte. Ist Berechnung nicht möglich, muß die Konstruktion im Versuch zu Bruch gefahren werden.

Gesteine – *Gemenge aus einer oder mehreren Mineralarten mit annähernd gleichbleibender mineralischer und chemischer Zusammensetzung, das geologisch einen selbständigen Körper darstellt.* Geologisch selbständig heißt, daß der Gesteinskörper sich gegenüber benachbarten Gesteinskörpern abgrenzen läßt und durch einen eigenen geologischen Vorgang entstanden ist. Die Lehre von den G. heißt *Petrographie* oder *Petrologie.* Eine grobe Einteilung der G. ist:

1) Erstarrungs-G.
- Tiefen-G. (z. B. Granit)
- Gang-G. (z. B. Granitporphyre)
- Erguß-G. (z. B. Basalte)

2) Sediment-G.:
- Salz-G. (Steinsalz)
- Trümmer-G. (z. B. Sande)
- Carbonat-G. (Kreide)
- Tone
- Kiesel-G.
- fossile Brennstoffe

3) Metamorphe G. – durch Druck und hohe Temperatur veränderte Erstarrungs-G. und Sediment-G.

Gesteinsglasur – *s.* Lehmglasur

Gibbsit – *s.* Aluminiumhydroxide

Gibbssches Phasengesetz – *von dem amerikanischen Physikochemiker Gibbs aufgestelltes Gesetz, das die Zahl der Phasen, die sich in einem beliebigen heterogenen System miteinander im Gleichgewicht befinden, beschreibt.* Es lautet:

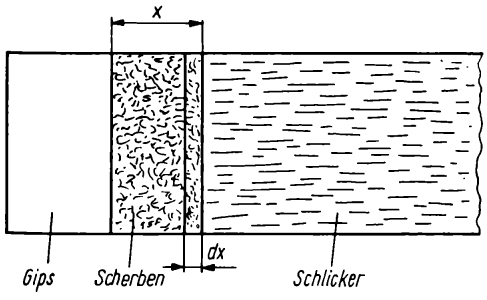
$$P + F = K + 2$$

P

Phasen im Sinne homogen aufgebauter Teile des heterogenen Systems, die durch Grenzflächen von anderen getrennt sind. Befindet sich ein Kristall mit seiner Schmelze im Gleichgewicht, so sind das zwei Phasen. Die von manchen Kristallen bei verschiedenen *p-T*-Bedingungen existierenden Modifikationen (Kristallstrukturen) stellen ebenfalls zwei Phasen dar; dagegen werden echte Mischkristalle als eine Phase aufgefaßt.

K
Komponenten im Sinne der Mindestzahl der unabhängigen Bestandteile, die zum Aufbau eines Systems notwendig sind. So stellen z. B. Wasser und Eis oder die verschiedenen Modifikationen eines Kristalls eine Komponente dar. Das System $CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$ ist als Zweikomponentensystem zu betrachten, und zwar CaO und CO_2 als die beiden Komponenten, während die dritte, $CaCO_3$, durch die beiden anderen bedingt wird.
F
Freiheitsgrad im Sinne der Anzahl der unabhängigen Variablen (Druck, Temperatur und Konzentration).
Nach der Zahl der Komponenten unterteilt man die Systeme in:
- Systeme 1. Ordnung mit einer Komponente,
- Systeme 2. Ordnung mit zwei Komponenten,
- Systeme 3. Ordnung mit drei Komponenten.

Gießen – *Formgebungsverfahren, bei dem eine Suspension*, der sog. Schlicker*, in eine poröse Gipsform* (Arbeitsform*) gegossen wird, an deren Oberfläche sich infolge ihres kapillaren Saugvermögens ein allmählich ansteifender Scherben ansetzt* (s. Bild).



Ansatz des Scherbens auf der Gipswand

Vom Ansatz zur Scherbenbildung wird unterschieden:
- *Hohlguß.* Die Innenwand der Form entspricht der äußeren Form des herzustellenden Gegenstandes (z. B. Kaffeekannen, Gießer). Ist nach Eingießen des Schlickers und entsprechender Standzeit* die erforderliche Wandstärke erreicht, wird der restliche Schlicker ausgegossen und der Wiederaufbereitung zugeführt. Nachfolgend schwindet der gegossene Körper von der Form ab und kann im lederharten Zustand entnommen werden.
- *Kernguß* wird dann angewendet, wenn Körper mit unterschiedlichen Wandstärken hergestellt werden sollen (z. B. Laufräder für Säurepumpen). In die Hohlräume der Gipsform werden Gipskerne eingesetzt; der Schlicker füllt dann den Zwischenraum zwischen Form und Kern aus. Die Scherbenbildung erfolgt gleichzeitig vom Kern und der Formenwand aus; während dieses Vorganges muß laufend Schlicker nachgegossen werden. Der Gießprozeß ist beendet, sobald der freie Raum zwischen Form und Kern mit Masse gefüllt ist. Wenn die Kerne gezogen sind, kann die Gipsform geöffnet werden.
- *Vollguß.* Für die Erzeugung massiver Körper (z. B. Rührwerkskessel) wird über einen Aufsatz solange Schlicker in die doppelwandige Form gegossen, bis sich im ganzen Volumen feste Masse angesetzt hat. Der Vorgang kann durch angewärmten Schlicker oder durch Überdruck von etwa 3 MPa beschleunigt werden.

Die Grenze der im Gießverfahren erreichten lunkerfreien Wandstärken liegt bei etwa 25 bis 35 mm.
[14, 111, 133, 144, 274]
s. Standzeit, Abstumpfzeit, Bechergewicht, Verflüssigung, Saugkoeffizient

Gießfehler – *Formgebungsfehler im Gießereibetrieb.* Sie können im wesentlichen zurückgeführt werden auf: falsche Schlickerparameter, fehlerhafte Gipsformen, Arbeitsfehler des Bedienungspersonals u. a. Die bekanntesten G. sind:
- *Gießflecke.* Streifen bzw. runde Flächen, die dichter und oft dunkler gefärbt sind als ihre Umgebung. Gießflecke kennzeichnen den Weg des Schlickerstrahls und stellen eine Orientierung der bildsamen Massebestandteile parallel zur Formenwand dar. Sie lassen sich einschränken bzw. beseitigen durch rotierendes Eingießen des Schlickers in die Gipsform, durch Verminderung des Anteils an Peptisationsmitteln und teilweisen Ersatz der bildsamen Anteile durch aufgemahlenen Glattscherbenbruch.
- *Gießrillen.* Rillenförmige Vertiefungen am Formling, die ihre Ursache in den Fließvorgängen bei der Scherbenbildung haben; sie treten besonders dann auf, wenn die Ausbreitung des Schlickers in der Form horizontal erfolgt. Der Fehler kann durch rotierendes Eingießen eingeschränkt werden.
- *Lunker** werden besonders beim Vollguß beobachtet, wenn die Zuführkanäle für den Schlik-

ker nicht frei sind (sie setzen sich während der Scherbenbildung zu und vermindern den Durchmesser der Eingußöffnungen), und zum anderen verringert die Wasserabsaugung durch die Gipsform das Volumen des eingeflossenen Gießschlickers.

- *Lufteinschlüsse im Scherben* können durch eine richtige Einstellung der Viskosität des Schlikkers vermieden werden; das beste Mittel, diesen Fehler auszuschalten, ist der Einsatz von Vakuumgießanlagen.
- *Aufplatzungen*, sog. »Nüsse«, die besonders bei dickwandigen Scherben (> 30 mm) an der Oberfläche auftreten können und zur Zerstörung des Stückes führen; sie haben ihre Ursache in schlecht dispergiertem Gießschlicker, in dem noch kleine Massevolumina vorhanden sind. Im Innern des Scherbens sind diese Massepartikeln nicht kritisch.

[39, 123, 274]

s. Foliengießen

Gießmaschinen – *Aggregate, die die schwere körperliche Arbeit des Handgießens durch mechanisierte bzw. teilautomatisierte Baugruppen übernehmen und meist in sog. Gießbandanlagen integriert sind.*

G. verlangen eine gleichbleibende Qualität des Schlickers und des Formenmaterials. Sie übernehmen die Arbeitsgänge Formentransport, Trocknen, Eingießen/Dosieren und Ausgießen des nichtbenötigten Schlickers. Die restlichen Arbeitsgänge, wie Herausnehmen der Rohlinge aus den Formen, Verputzen und Garnieren, sind maschinellen Mechanismen schwer zugänglich, und daher sind solche Lösungen immer problematisch.

G. werden folgendermaßen unterteilt:

- *Batteriegießanlagen* stellen die einfachste Form der G. dar. Das Einfüllen des Schlickers in die Formen und das Entleeren der Formen wird durch Programmablauf geregelt; die Entnahme der Formlinge usw. erfolgt manuell bzw. kann durch Robotereinsatz mechanisiert werden.
- *Gießelevatoren.* In die auf einem Elevator* befindlichen Formensätze wird Schlicker durch eine Automatik eingegossen. Nach Scherbenbildung und Antrocknung auf dem Elevator werden die Formlinge manuell entnommen. G. werden vorwiegend für Kerngußartikel eingesetzt; sie sind meist mit Formlings- und Formentrocknung gekoppelt.
- *Hohlgeschirrgießmaschinen* stellen eine wirkungsvolle Mechanisierung des Gießprozesses dar. Bei verringertem Platzbedarf wird eine gleichmäßige Formlingsqualität erreicht, außerdem bestehen günstige Verkettungsmöglichkeiten mit nachfolgenden Trocknungseinrichtungen (Arbeitsweise s. Bild 1). Die schwer mechanisierbaren Arbeitsgänge wie Entformen, Formenzusammensetzung usw. verbleiben.
- *Automatische Gießanlagen* stellen gegenwärtig die höchste Stufe des maschinellen Gießens dar; der Fertigungsablauf einer solchen Anlage – nach System Netzsch – ist auf Bild 2 dargestellt.

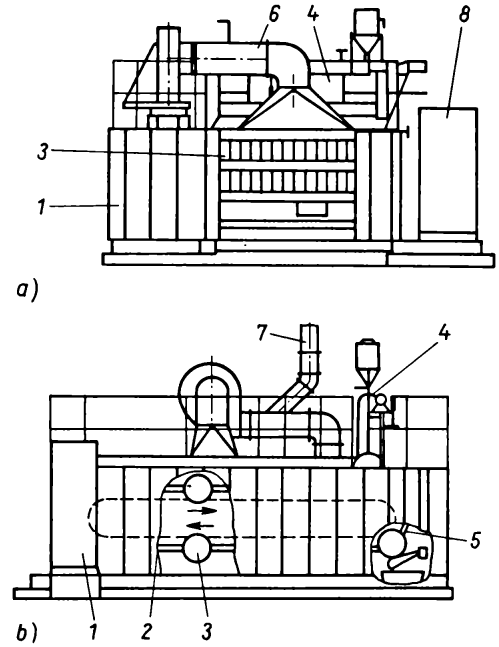


Bild 1. Prinzipskizze eines Bandgießmaschine nach dem System VE Wissenschaftlich-technischer Betrieb der Feinkeramik Meißen vom Typ BGM 23

a) Vorderansicht
b) Seitenansicht

1 Bedienseite
2 Transportkette
3 Pendel mit Formbesatz
4 Dosierung mit Eingießventilen
5 Ausgießstation
6 Umluftsystem für Warmluft
7 Abluftleitung
8 Schaltschrank

Die BGM 23 ist mit 23 Stück Pendel ausgerüstet. Die Pendel können maximal 12 Formen aufnehmen. Der Pendeltransport erfolgt im Takt; Dosierung ist verfahrbar ausgelegt.

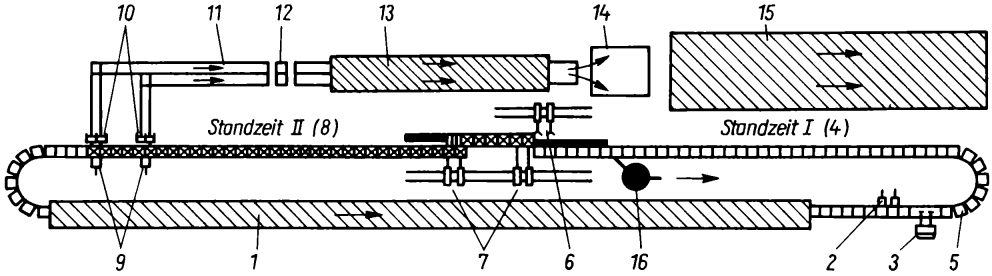


Bild 2. Prinzipskizze einer Gießbandanlage für WC-Becken

1 Formentrockner
2 Deckelabsenkvorrichtung
3 Eingußvorrichtung
4 Standzeit I (Scherbenbildung)
5 Gießband
6 Stopfenziehvorrichtung
7 Formenkippvorrichtung
8 Standzeit II (Abstumpfen und Abschwinden)
9 Deckelanhebevorrichtung
10 Entformungsvorrichtung
11 Ledhart-Transporteinrichtung
12 Drehtisch
13 Lederharttrockner
14 Putzbereich
15 Weißtrockner
16 Tiefbehälter für Rückschlicker

Wegen der hohen Anschaffungskosten sowie des hohen Platzbedarfs lohnt sich der Einsatz einer solchen Anlage besonders für großformatige Artikel wie WC-Becken, Waschtische u. a.

[33, 111, 274, 357]

Gießmasse – *s.* Schlicker

Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) – *gesteinsbildendes Mineral.*

Kristallographie: monoklin

Physikalische Eigenschaften: weiß, Einzelkristalle wasserklar, durchsichtig, grau, rot, gelb, braun bis schwarz; $H = 2$; $D = 2{,}32\ g\ cm^{-3}$; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}521$, $n_\beta = 1{,}523$, $n_\gamma = 1{,}530$, $\Delta n = +0{,}009$; $2V = 58°$

Varietäten:

Marienglas – durchsichtige Art

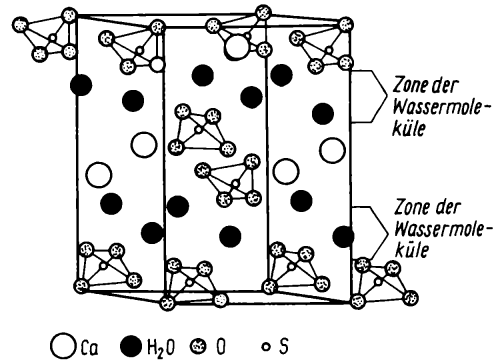
Alabaster – marmorartige, dichte Masse von heller Farbe

Fasergips – faserige Textur

derber G. – gewöhnliche Art.

Vorkommen: in allen Ländern Europas

Der natürliche G. findet in der keramischen Industrie keine nennenswerte Verwendung, sondern nur sein Halbhydrat als sog. Formengips zur Herstellung von Arbeitsformen* für die Formgebungsverfahren Gießen*, Drehen* und Pressen*. Formengips wird durch partielle Dehydratation im Temperaturbereich 130 bis 180 °C gewonnen. Je nach Entwässerungsverfahren erhält man verschiedene Formen des Halbhydrats, so liefert der Kocher bzw. Drehofen vorwiegend das kryptokristalline β-$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ und das Autoklavenverfahren vorwiegend das phanerokristalline α-$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$.



Kristallgitter von Gips (nach *Correns*)

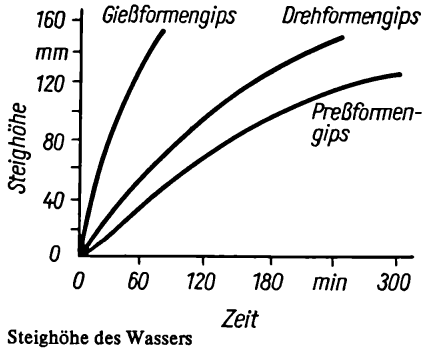
α- und β-$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ kristallisieren beide trigonal; sie sind keine verschiedenen Phasen, sondern unterscheiden sich nur in Dichte und Oberflächenentwicklung; $D_\alpha = 2{,}75\ g\ cm^{-3}$, $D_\beta = 2{,}61\ g\ cm^{-3}$. (s. Tabelle)

		α-Halbhydrat	β-Halbhydrat
Einstreumenge	g/100 g H_2O	230...250	130...170
Versteifungsende	in min	15... 20	20... 40
Biegezugfestigkeit	in MPa	12,5	4... 5
Druckfestigkeit	in MPa	45,0	10... 13

Gipsformen – *Hilfsmittel in der keramischen Formgebung beim Drehen*, Pressen* und Gießen**.*

Zur Herstellung der G. wird der sog. Formengips mit Wasser angemacht, wobei das Wasser-Gips-Verhältnis (*W/G*-Wert) die Konsistenz des Gips-

breis bestimmt. In erster Näherung können für Drehformen 78 Teile Wasser auf 100 Teile Gips und für Gießformen 90 Teile Wasser auf 100 Teile Gips angenommen werden; jedoch sollte das beste *W-G*-Verhältnis durch Versuche ermittelt werden. Allgemein wird für Gießformen β-$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$, für Preßformen α-$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ und für Drehformen ein Gemenge beider bevorzugt (s. Bild).



Steighöhe des Wassers

Das Gefüge des hydratisierten Formengipses besteht aus verfilzten Dihydratkristallen. Die Gebrauchseigenschaften der Gipsformen werden einmal durch die Wachstumsformen der Kristallite bestimmt, zum anderen durch technologische Maßnahmen, wie *W/G*-Wert, Rührintensität, Einrühren unter Vakuum, Zugabe von abbindeverzögernden (z. B. 0,05 bis 0,2 % Sulfitablauge), festigkeitssteigernden (z. B. 1,0 bis 2,0 % Silicone) Stoffen beeinflußt. Charakterisiert werden G. durch Saugkoeffizienten* (nicht ganz korrekt auch als Diffusionskoeffizient* bezeichnet), Wasseraufnahme*, Widerstand gegen Verschleiß- und Erosionserscheinungen. Ursache für letztere sind:

- Wasserlöslichkeit des Gipses mit etwa 0,2 g/100 ml,
- chemische Reaktionen von Verflüssigungsmitteln, z. B. Soda mit Gips zu Na_2SO_4, die als Ausblühungen auf der G. sichtbar werden,
- mechanische Erosion durch Ein- u. Ausgießen des Schlickers u. a.

Nach etwa 80 bis 100 Eingüssen sind G. verschlissen; verbrauchte G. lassen sich nicht regenerieren und können evtl. aufgemahlen als Düngemittel verwendet werden.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Kenngrößen des Formengipses enthält die nachstehende Tabelle (nach *G. Fielsch*). [39, 70, 108, 133]

s. Modell*, Modelleinrichtung

Kenngrößen	Gießformengipse	Drehformengipse	Preßformengipse
Rückstand auf Sieb in % 200 µm	≦0,2	≦0,25	≦0,5
90 µm	≦2	≦2,5	≦3
W/G-Wert für Normalkonsistenz	≈0,75	0,55...0,6	0,33...0,37
Erstarrungszeiten in min			
Beginn	≧15	≧4	≧15
Ende	≦30	≦20	≦28
Druckfestigkeit nach 2 h in MPa	≧5	≧7	≧18
hydratationsbedingte Quellung in mm m^{-1}	≦2,5	≦3	≦2
Trockenrohdichte in g cm^{-3}	1,0	1,25	1,6
Wasseraufnahme in Masse-%	35...45	25...30	≈15

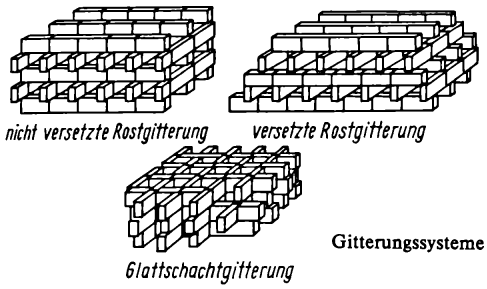
Diffusionsgeschwindigkeit bzw. Steighöhe des Wassers s. nebenstehendes Bild

Gitterdiffusion (Volumendiffusion) – *eine Art von Diffusion, wobei der Transport der Teilchen durch das Kristallgitter über verschiedene Mechanismen erfolgt.* Allgemein ist der Diffusionskoeffizient der G. um Größenordnungen kleiner als der der Grenzflächendiffusion. Er steigt sprunghaft an beim Übergang in den schmelzflüssigen Zustand. Auf Grund der Anisotropie des Kristallgitters ist außerdem bei nichtkubischen Kristallen eine Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit von der kristallographischen Richtung zu erwarten.

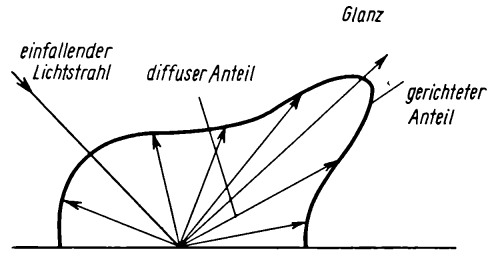
Gitterkonstante – *s.* Elementarzelle

Gittersteine – *feuerfeste Steine, die in Regenerativkammern zur Speicherung der von Abgasen mitgeführten Wärme eingesetzt werden.* Sie werden rasterförmig ohne Bindesubstanz in Glattschichtgitterung oder in versetzter bzw. nichtversetzter Rostpackung geschichtet und müssen aggressiven Medien, wie Alkalien, Eisen- und Calciumoxiden u. a., widerstehen. Für Regenerativkammern der Glas- und Stahlöfen kommen eisenarme Periklassteine und für Winderhitzer Schamottesteine in Betracht. (s. Bild S. 181)

Gittertypen – *Bauanordnung von Kristallen.* Sämtliche in der Natur vorkommenden Kristalle lassen sich auf Grund ihrer Kristallstruktur in 230 Raumgruppen bzw. in 32 Kristallklassen ein-



Gitterungssysteme



Lichtstromverteilung einer glänzenden Oberfläche

ordnen. Obwohl die Struktur der einzelnen Elemente und Verbindungen durch Gestalt, Größe, Art und Stärke der Bindungskräfte der aufbauenden Teilchen charakterisiert ist, so ist es doch verständlich, daß viele Stoffe in gleichen oder ähnlichen Gittertypen kristallisieren. Es ist daher üblich, die verschiedenen Typen durch große Buchstaben und die Untergruppe durch beigefügte Zahlen zu kennzeichnen; häufig erfolgt die Benennung der G. nach zuerst untersuchten oder wichtigen Substanzen. Man unterscheidet:

- *A-Typen:* Elemente (z. B. Kupfer)
- *B-Typen:* Verbindungen des Typs AB (z. B. NaCl)
- *C-Typen:* Verbindungen des Typs AB_2 (z. B. CaF_2)
- *D-Typen:* Verbindungen des Typs A_mB_n (z. B. Al_2O_3)
- *E-Typen:* Verbindungen mit mehr als zwei Elementen, jedoch ohne Komplexbildung
- *F-Typen:* Verbindungen mit 2- oder 3atomigen Radikalen (z. B. CoAsS)
- *H-Typen:* Verbindungen mit 5atomigen Radikalen BX_4 (z. B. $PbWO_4$)
- *S-Typen:* Silicate

Glanz – Charakteristisches Kennzeichen von Mineralien, beruhend auf Reflexion und Absorption des Lichtes und abhängig von der Ebenheit der Oberfläche, der Brechzahl und der Durchsichtigkeit.

Allgemein spricht man von G., wenn der Anteil des auf einer Oberfläche zurückgeworfenen Lichtstromes vorwiegend aus gerichtetem, polarisiertem Licht besteht und die diffuse Komponente zurücktritt (s. Schema). Als Maß des G. gilt die Beziehung:

$$G = \frac{I - I_D}{I_0}$$

I_0 eingestrahlte Lichtintensität
I_D diffus zurückgestrahlte Lichtintensität
I gerichtet reflektierte Lichtintensität.

Die Messung des G. wird mit Hilfe fotometrischer Einrichtungen, sog. *Glanzmesser*, ausgeführt. Ein in der Emailindustrie übliches Verfahren besteht darin, den Prüfling zusammen mit einer Vergleichsprobe (Barytweiß) unter 45° zu beleuchten und die Helligkeit mit einem Zeiss-Pulfrich-Fotometer zu messen. Anschließend werden Prüfling und Probe um 22,5° gedreht, und die gerichtete Lichtintensität wird gemessen. Das Verhältnis beider Zahlenwerte wird als sog. *Glanzzahl* angegeben.

Glanzcitrongold – *Glanzpräparat, das in größeren Mengen Silber enthält (Gold/Silberverhältnis = 10:4).* Es brennt bei Temperaturen von 770 bis 780 °C im Farbton eines 17- bis 18karätigen Goldes aus.

Der Silbergehalt bedingt eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber schwefel- und säurehaltiger Atmosphäre. [358]

Glanzgold – *im malfertigen Zustand eine schwarzbraune, lackartige Flüssigkeit mit Geruch nach ätherischen Ölen, die nach dem Dekorbrand* (Porzellan etwa bei 780 °C) *als glänzende Schicht in einer Dicke von 0,05 bis 0,1 µm auf dem Artikel liegt.*

G. enthält 9 bis 12 % Gold in teils kolloider Form, teils als Resinat (Ester von Harzsäuren); außerdem enthält es noch Zusätze von 0,4 bis 0,5 % Bismutoxid, 0,05 % Chromoxid in Form von Resinaten und etwa 0,05 % Rhodium als Sulforesinat.

G. kann ohne Schaden dicker aufgelegt werden; in zu dünner Lage wird es grün oder rötlich. Die Zusätze verhindern die Rekristallisation des Goldes. Bei Fehlen der Zusätze oder im falsch gewählten Verhältnis bildet sich im Brande eine abwischbare rötliche Schicht von sog. Goldasche.

G. wurde 1827 in Meißen erfunden. Mit 10 g G. bei einem Goldgehalt von 10 % kann etwa 1 m^2 Fläche vergoldet werden.

Außer den verschiedenen Resinaten haben in letzter Zeit sog. Goldmercaptide (Verbindungen der

allg. Formel $C_nH_{2n+1}SH$) als G. Bedeutung erlangt. [358]

Glanzplatin – *Edelmetallpräparat, das auf Platin und anderen Platinmetallen, meist in Verbindung mit Gold, aufbaut* (etwa 5,5% Platin). Aufbau und Handhabung ähneln dem Glanzgold; Einbrenntemperatur 750 bis 850 °C.

Glanzsilber – *Edelmetallpräparat für hochglänzende Versilberungen, die nicht schwarz werden, mit einem Gehalt von etwa 4% Gold und 1% Platin.* G.-Stempelpasten haben einen wesentlich höheren Edelmetallgehalt. Aufbau und Handhabung sind ähnlich dem Glanzgold; Einbrenntemperatur 750 bis 850 °C.

Glas – *eine unterkühlte (eingefrorene) Schmelze (nach Tammann), d. h. ein Zustand, in dem die Nahordnung der Schmelze beim Abkühlen in hohem Maße erhalten blieb und nicht die Fernordnung der Kristalle angenommen wurde.*

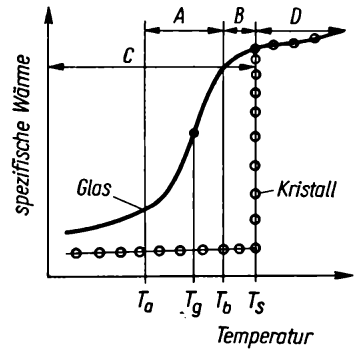
Üblicherweise entstehen Gläser beim Abkühlen von Schmelzen sog. glasbildender Stoffe, wie SiO_2, B_2O_3 oder P_2O_5, als isotrope, i.d.R. im sichtbaren Spektrum als durchsichtige Körper. Gegenüber Kristallen läßt sich G. deutlich abgrenzen:

- G. zeigt eine reversible Erweichung bzw. Erstarrung beim Übergang vom spröd-festen in den flüssigen Zustand und umgekehrt, ohne daß dabei eine neue Phase entsteht.
- Die Erweichung bzw. Erstarrung erfolgt innerhalb eines mehr oder weniger breiten Temperaturintervalls, d. h., es gibt keine genau fixierte Schmelztemperatur.
- G. besitzt eine höhere innere Energie als die entsprechenden kristallisierten Körper und zeigt damit die Tendenz, in den energieärmeren kristallinen Zustand überzugehen.

Die glasige Erstarrung hat ihre Ursache in dem hohen Viskositätsanstieg bei der Abkühlung; die meisten glasbildenden Komponenten neigen dazu, ein dreidimensionales Netzwerk aufzubauen, und schränken damit die Beweglichkeit der Bausteine zur Anlagerung an vorhandene Keime ein. Werden ihre spezifischen Keim- und Kristallisationsbedingungen jedoch beachtet, gehen die Gläser in den kristallinen Zustand über. Diese gesteuerte Kristallisation macht man sich in den Glaskeramiken* zunutze. Andererseits ist es heute möglich, fast alle Stoffe bei Anwendung sehr hoher Abkühlgeschwindigkeiten (10^6 K s^{-1} und höher) in den glasigen Zustand zu überführen. Damit wird die Abkühlrate zum Kriterium der Glasbildungstendenzen eines Stoffes.

In letzter Zeit wurden Glasherstellungsverfahren bekannt, die nicht über den konventionellen Schmelzprozeß verlaufen, sondern auf der Basis von Sol-Gel-Prozessen aus Lösungen und über Reaktionen in der Gasphase.

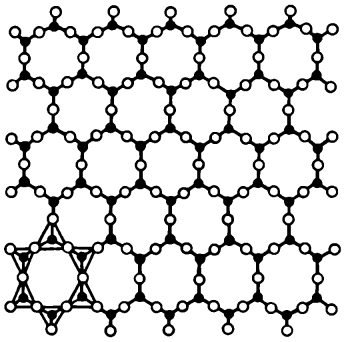
Die Änderung der Eigenschaften des G., z. B. der spezifischen Wärme $\left(C_p = \frac{dH}{dt}\right)$, läßt sich für Kristalle und glasige Stoffe allgemein wie im Bild darstellen. Beim Abkühlen der Glasschmelze lau-



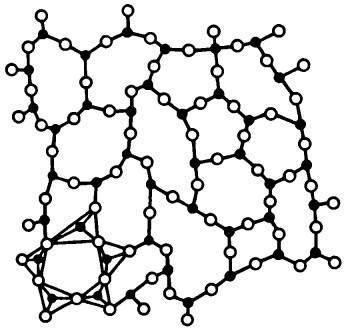
Änderung der spezifischen Wärme bei höheren Temperaturen für kristalline und glasige Festkörper
T_s Schmelzpunkt von Kristallen
T_g Transformationspunkt
A ($T_a - T_b$) Erweichungsintervall der plastischen Bereiche
B ($T_s - T_b$) unterkühlte flüssige Glasschmelze
D flüssige Schmelze
C Kristall

fen im Übergangsbereich *A* + *B*, dem sog. Einfrier- oder Transformationsbereich, wesentliche strukturbildende Prozesse ab, ehe G. als spröd-fester Körper vorliegt.

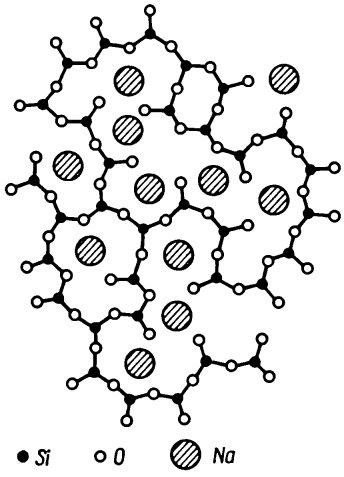
Nach der Kristallittheorie nach *Lebedev* (1921) stellt G. ein Aggregat hochdisperser Kristalle dar, darunter auch Quarzkristalle, die jedoch nicht in reiner Form, sondern als feste Lösung mit anderen Substanzen vorliegen. Dagegen bleiben nach *Zachariasen* und *Warren* (1933) im G. nur die Grundbausteine der kristallisierten Silicate – die SiO_4-Tetraeder – erhalten. Typische Glasbildner, wie SiO_2, B_2O_3, P_2O_5, bauen ein unregelmäßiges Netzwerk auf, das in der Lage ist, andere, eigentlich nicht glasbildende Komponenten, die sog. Netzwerkwandler, wie Na_2O, K_2O, CaO u. a., statistisch einzubauen, ohne daß die Glasigkeit verlo-



a)



b)



c)

Ebene Darstellung der $[SiO_4]$-Tetraeder (nach *Zachariasen* und *Warren*)

a) gesetzmäßig geordnete Vernetzung im Bergkristall

b) unregelmäßige Vernetzung im Kieselglas

c) statistische Verteilung der Natriumionen im Natriumsilicatglas

rengeht. Zwischenoxide, wie Al_2O_3, Fe_2O_3, können dabei je nach Glaszusammensetzung als Netzwerkbildner oder -wandler auftreten.

Während die Kristallittheorie besonders die Unstetigkeit in den Eigenschaftsverläufen der Gläser erklärt, lassen sich mit der Netzwerktheorie die kontinuierlichen Eigenschaftsänderungen interpretieren. Beide Hypothesen beschreiben jedoch nur Grenzfälle der Glasstruktur. Die meisten realen G. zeigen Entmischungserscheinungen und sind im Bereich zwischen den beiden Grenzstrukturen einzuordnen. Zum Fortschritt der Anschauungen über die Glasstruktur haben besonders die Arbeiten von *Dietzel* beigetragen. Aufbauend auf die Ansichten von *Goldschmidt*, der die Größenverhältnisse der Ionen und deren Polarisations- und Deformationsverhalten als wesentliches Kriterium für die glasige Erstarrung von Schmelzen ansah, führte *Dietzel* den Begriff relative »Feldstärke« als Maß für die von einem Ion ausgehenden Kraftwirkungen ein und konnte mit deren Hilfe bzw. durch Berechnung der Feldstärkedifferenzen verschiedener Elemente Verbindungsbildung, Glasbildung oder Entmischung erklären und eine Klassifikation der Glaskomponenten aufstellen (s. Tabelle).

Durch die Arbeiten von *Vogel* und Mitarbeiter

Ausgewählte Kationen und ihre Einordnung in die Glasstruktur

Element	Wertigkeit Z	Ionenabstand a im Oxid in Å	*Kz*	Relative Feldstärke im Oxid $O^{2-}: \frac{Z}{a^2}$	Funktion
K	1	2,77	8	0,19	Netzwerkwandler
Na	1	2,30	6	0,19	
Li	1	2,10	6	0,23	
Ba	2	2,86	8	0,24	
Pb	2	2,74	8	0,27	
Ca	2	2,48	8	0,33	
Fe	3	1,99	6	0,76	
		1,88	4	0,85	
Al	3	1,89	6	0,84	Zwischenoxide
		1,77	4	0,96	
B	3	1,50	4	1,34	Netzwerkbildner
Si	4	1,60	4	1,57	
P	5	1,55	4	2,09	

wurde als weiteres wesentliches strukturbildendes Element bei den meisten Mehrkomponentengläsern die Mikrophasentrennung erkannt. In Abhängigkeit von ihrer Temperaturvorgeschichte werden in diesen G. unterschiedliche Mikrophasen ausgebildet; innerhalb solcher Mikrophasen wird stöchiometrische Zusammensetzung angestrebt. Die Beeinflußbarkeit der Ausbildung dieser Phasen von winzigsten Tröpfchen im nm-Bereich bis hin zu gezielten Kristallausscheidungen hat bewirkt, daß wesentliche Fortschritte bei der Herstellung neuer G. und Glaskeramiken möglich wurden. Von *Smekal* wurde noch darauf hingewiesen, daß überwiegend solche Verbindungen G. bilden, die durch eine gemischte Bindung, also durch homöopolare und heteropolare Anteile, charakterisiert sind.

Von G. gibt es heute ein umfangreiches Sortenspektrum; einige für die Praxis wichtige Beispiele sind:

- Natrium-Kalk-G. ($Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$) mit Zusätzen von Al_2O_3, MgO, BaO und ZnO für leichtschmelzende G. (G. für Röhren, Fluoreszenzlampen, Flaschenglas), nicht resistent,
- Kali-Kalk-G. ($K_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$), schwer schmelzbar, mit hoher Resistenz,
- Kali-Blei-G. ($K_2O \cdot PbO \cdot 6SiO_2$) mit Zusätzen von CaO und BaO, hohe Dichte, hoher optischer Brechungsindex, hohe Brillanz, relativ geringe dielektrische Verluste, weich, auch für optische G. geeignet,
- Alumo-Borosilicat-G. (SiO_2, B_2O_3, Al_2O_3, BaO, Na_2O), chemisch und thermisch widerstandsfähig,
- Kieselglas (SiO_2), sehr geringer thermischer Ausdehnungskoeffizient ($\alpha = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$), durchlässig für ultraviolettes Licht, chemisch resistent, Herstellung von Glasteilen wegen hoher Verarbeitungstemperaturen (1 800 °C) aufwendig.

[17, 69, 208, 209]

Gläser, metallische – *Metalle bzw. Legierungen, die durch extrem schnelle Abkühlung ihrer Schmelze (10^3 bis $10^6\,K\,s^{-1}$) in den nichtkristallinen (glasartigen) Zustand überführt werden.*

Die Abkühlung und Formung zu einem Band kann z. B. durch Aufbringen der Schmelze auf eine rotierende, extrem gekühlte Walze erreicht werden.

M. G. zeichnen sich durch eine Reihe hervorragender Eigenschaften aus: hohe Streckgrenze, hohe Zugfestigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit, hohe Permeabilität, kleine Koerzitivfeldstärke und geringe Ummagnetisierungsverluste. Als Haupteinsatzgebiete zeichnen sich ab: Energietechnik (Transformatorenbleche), Magnetaufzeichnungstechnik, verschiedene Gebiete der Elektrotechnik (Streifenelemente für magnetische Kennzeichnung, z. B. Diebstahlsicherungen, Stellglieder in der Regel- und Steuertechnik), Verstärkung von Werkstoffen (Fasermaterial in Kunststoffen u. a.), Verpackungsfolien, Tieftemperaturtechnik (Widerstandsthermometer, Heizdrähte), Supraleitung.

Gegenwärtig sind mehrere Hundert m. G. bekannt. Typische Zusammensetzungen sind $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$, $Co_{75}P_{25}$. Auffällig ist, daß viele Übergangsmetalle, wie Ni, Pd, Pt, besonders geeignet sind. [367]

Glashafenton – *Rohstoff zur Herstellung von Glasschmelzöfen.* G. zeichnen sich durch hohe Feuerfestigkeit und gutartiges, d. h. schlieren- und steinchenfreies Auflösen in der Glasschmelze aus. Sie brennen verhältnismäßig dicht, ohne merklich zu erweichen. Gebräuchlich sind G. mit etwa 50 % Quarz <10 µm Korngröße.

Glasieren – *Aufbringen der Glasur*, meist in flüssiger Suspension, auf den keramischen Scherben;* der Scherben kann dabei verglüht (Glühbrand*) oder roh, d. h. ungebrannt, vorliegen. Eine besondere Form des G. stellt die sog. Selbstglasur* dar.

Rohglasieren wird vorwiegend bei Großstücken (Isolierkörper, Sanitärerzeugnisse u. a.), die teils durch ihre Massezusammensetzung, teils durch organische Zusätze gegenüber Wasser eine genügende Trockenfestigkeit aufweisen, angewandt. Im Gegensatz dazu werden Artikel, die diese Eigenschaft nicht aufweisen, nach dem Glühbrand glasiert; außerdem sind geglühte Scherben saugfähiger und im Glattbrand reaktionsfreudiger.

Der Vorgang des G. kann sowohl manuell als auch maschinell mittels Glasiermaschinen* ausgeführt werden; einige Verfahren werden zur Erzielung bestimmter Effekte nur für einen bestimmten Artikel herangezogen.

Im einzelnen wird unterschieden:

- Begießen, Übergießen; bei Fliesen, Tellern, Tassen, Kacheln,
- Überpinseln; nur manuell zur Erzielung bestimmter Glasureffekte,

- Tauchen; es wird der ganze Artikel in die Suspension eingetaucht; Stellen, die glasurfrei bleiben sollen, müssen vorher mit Wachs abgedeckt werden (Zur Vermeidung von Glasurfehlern muß die Verweilzeit der Artikel in der Glasursuspension abgestimmt werden.),
- Bespülen; die Artikel werden in einer drehbaren Halterung befestigt, in Rotation versetzt und durch Düsen mit Glasur bespült,
- Spritzen; mittels Spritzpistole (Überdruck 0,2 bis 0,4 MPa) wird die Glasursuspension – meist in Kabinen – auf die Artikel aufgespritzt. (Im Prinzip können alle keramischen Erzeugnisse auf diesem Wege glasiert werden.)
  Eine besondere Form des Spritzg. stellt das sog. elektrostatische G. dar. Die Glasursuspension wird in ein Gleichstrom-Hochspannungsfeld eingespritzt; die Glasurtröpfchen folgen dann den elektrischen Feldlinien und werden gleichmäßig auf dem geerdeten keramischen Rohling niedergeschlagen,
- Aufschleudern; schnell rotierende Schleuderkörbe schleudern durch eine Siebwand die Suspension nur in einer Richtung auf die auf einem Transportband vorbeilaufenden Erzeugnisse (z. B. bei zweiseitig zu glasierenden Spaltplatten*),
- Aufpressen; mittels spezieller Kalander werden flexible Glasurfilme auf Substrate aufgepreßt (s. Foliengießen),
- Aufdampfen; s. Anflugglasuren, Salzglasuren.

[14, 111, 254, 361]

Glasierlinie – *technologische Verkettung von Arbeitsgängen/Verfahren für den gesamten Glasiervorgang feinkeramischer Artikel vor dem Glattbrand,* wobei die Ausführungen für Becher und Flachgeschirrteile sich in einigen Details unterscheiden (s. Bild einer Glasierlinie für Flachgeschirr).

Glasiermaschine – *nach dem Begieß- und Tauchverfahren arbeitende Maschine zum Glasieren keramischer Gegenstände.* In der Regel sind Abstaubmaschine, Zulaufband, die eigentliche Glasierstation, Ablaufband und Glasurputzanlage zu einer Glasierlinie zusammengefaßt. Die rotierenden Gegenstände werden entweder von mehreren Seiten mit Glasurschlicker bespritzt, oder sie durchlaufen einen Glasurschleier. Das gleichmäßige Verteilen der Glasur auf der Scherbenoberfläche wird durch ein plötzliches Abbremsen des rotierenden Stücks bzw. durch Anblasen mit Druckluft unterstützt. An Sonderausführungen von G. gibt es Fliesen-G., Spritzmaschinen für Ofenkacheln, Tauchanlagen für Steinzeugrohre u. a.

Glaskeramik – *durch kontrollierte (katalysierte) Kristallisation* erzeugte Werkstoffe aus Gläsern bestimmter Zusammensetzung;* sie zeichnen sich durch ein gleichmäßiges, feinkristallines und porenfreies Gefüge aus, wobei als Gefügekomponenten neben kristallinen Phasen noch glasige Anteile vorhanden sein können.

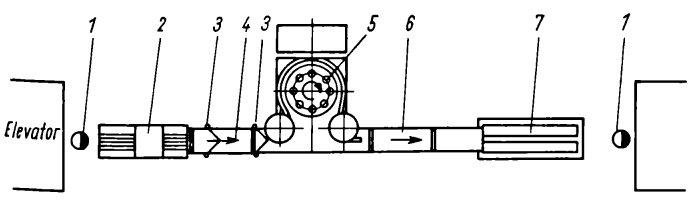
Aus den Glasrohstoffen Sand*, Soda*, Feldspat*, Kalk* und einer Anzahl spezieller Gemengeteile, wie Spodumen*, Rutil*, Zirkon* u. a., wird ein Glas* erschmolzen, geläutert und durch Blasen, Pressen, Ziehen, Gießen geformt. Nachfolgend wird in zwei Phasen das Glas zur Kristallisation gebracht:

1) Erhitzen auf eine Temperatur, in der Keimbildung eintritt (Viskosität etwa 10^{10} bis 10^{11} Pa s),

2) weitere Steigerung der Temperatur in kontrollierter Weise, so daß die Kristallisation abläuft.

Für die Kristallisation ist die Keimbildung von entscheidender Bedeutung; meist bedient man sich der sog. heterogenen Keimbildung* durch geringe Zusätze von Pt, Pd u. a. (d. h. eine Form von Epitaxie*), in anderen Fällen geht der Keimbildung eine Entmischung (Phasentrennung) voraus, z. B. durch Zusätze von TiO_2.

Die wichtigsten Glaskeramik-Systeme sind:



Glasierlinie für Geschirr
1 Bedienungspersonen
2 Abstaubmaschine mit Übergabeband
3 Dosiervorrichtung
4 Förderband
5 Begieß-Glasiermaschine
6 Förderband mit Reinigungsvorrichtung
7 Glasurabputzmaschine

$Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$, $Li_2O-MgO-SiO_2$
$Li_2O-ZnO-SiO_2$.

Durch Erzeugung von Druckspannungen in G. ist eine beachtliche Festigkeitssteigerung möglich, etwa durch Erzeugung von Ni-Spinell (durch geeignete Zusätze) im Glasvolumen wegen der unterschiedlichen *WAK* von Spinell und Glasphase oder durch Ionenaustausch in der Glasoberfläche, so läßt sich z. B. die Festigkeit eines Glases von 90 MPa durch Mikroverspannungen auf über 290 MPa steigern. G. haben wegen ihrer niedrigen Wärmedehnung und hohen Korrosionsfestigkeit ein weites Anwendungsgebiet gefunden: Laborgeräte, Wärmeaustauscher, Substrate, Implantate u. a. [133, 144, 359, 360]

Glasphase – *gefügebestimmender Sammelbegriff für nichthomogene Silicatschmelzen, welche glasig erstarren und in vielen Fällen einen wesentlichen Bestandteil des keramischen Scherbens darstellen.* G. wird durch folgende Eigenschaften charakterisiert (nach *Berger*):
- Viskosität-Temperatur-Verlauf,
- Reversibilität des Übergangs Schmelze/erstarrtes Glas bei Durchlaufen des betreffenden Temperaturintervalls,
- Transformationsintervall,
- chemische Reaktivität gegenüber festen Phasen,
- Mikroinhomogenitäten: Glas/Glas – Entmischung,
- Kristallisation (sog. Entglasen) bei Vorhandensein einer genügend großen Anzahl von Keimen.

Die Gehalte an G. in den keramischen Werkstoffen bewegen sich in einem breiten Bereich, sie betragen etwa (in Masse-%):

Oxidkeramik*	<1
Silica*	2 bis 10
schmelzgegossene feuerfeste Erzeugnisse	2 bis 25
Ziegel*	20 bis 40
Steingut*	20 bis 60
Porzellan*	40 bis 70
Steatit*	40 bis 60
Schamotte*	20 bis 50
Steinzeug*	30 bis 50.

Da beim keramischen Brand im allg. kein Gleichgewichtszustand erreicht wird, liegt die G. im Scherben nicht homogen vor, sondern ist unterschiedlich zusammengesetzt. So können im Porzellanscherben nach ihrer Genese und Zusammensetzung mindestens drei Arten von G. unterschieden werden:
- Feldspatschmelze,
- Schmelzhöfe in der Umgebung von Quarzkörnern,
- röntgenamorpher Anteil innerhalb der Primärmullitmatrix.

Entsprechend ihrem Anteil im Scherben beeinflußt die G. die Eigenschaften keramischer Erzeugnisse, wie Transparenz*, mechanische und elektrische Festigkeit, Verhalten gegen Korrosion*, *TWB** u. a. Das Transformationsintervall liegt nach *Karsch* für die G. in Porzellan, Steatit, Schamotte übereinstimmend bei 800 bis 830 °C. [94, 133, 144, 363]

Glasschmelzhafen – *im Gieß- oder Stampfverfahren hergestellte Tiegel bis zu 1 000 l Inhalt zum Schmelzen von Glas im Unterflamm- bzw. Oberflammverfahren.* Im wesentlichen werden für G. zwei Massen verwendet:

1) eine saure Masse mit 40 bis 50 % freier Kieselsäure (Verwendung quarzhaltiger Tone), die bei niedrigem Flußmittelgehalt standfest ist bis zu etwa 1 500 °C,

2) eine Masse mit etwa 35 % Al_2O_3 und nur 3 bis 10 % freier Kieselsäure, die gegen Glasangriff widerstandsfähiger ist, aber zu Deformationen neigt.

Das Brennen der G. erfolgt in Temperöfen und wird meist vom Glasbetrieb selbst durchgeführt.

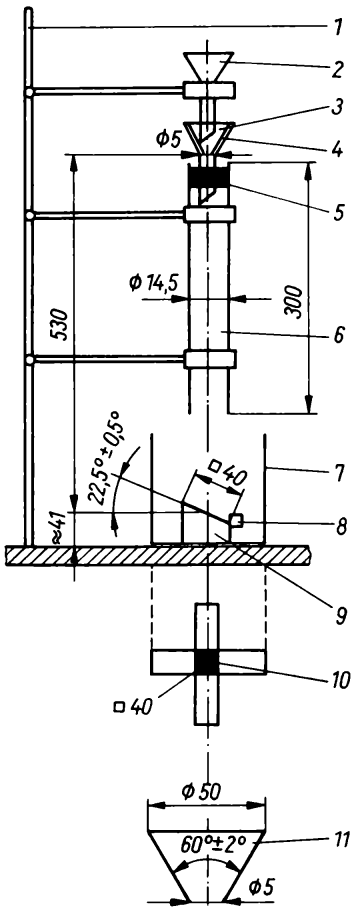
Glasurabrieb – *Masseverlust von glasierten Flächen durch Reibung und Schlag beim Gebrauch, erkenntlich in Minderung des Glanzes* und Zunahme der Rauhigkeit**.

Zur Bestimmung des G. sind folgende Untersuchungen gebräuchlich:
- *Sandrieselmethode*

  Die prinzipielle Anordnung des Prüfapparates ist aus dem Bilde zu ersehen. Als Prüfkörper dienen entweder besonders angefertigte quadratische Platten von 40 mm Kantenlänge oder aus Tellerböden herausgeschnittene runde Platten von der zu untersuchenden Masse und Glasur, die unter Betriebsbedingungen gebrannt wurden. Als Prüfmittel wird eine definierte Menge (z. B. 600 g) Korund, SiC, Sand verwendet. Da der Masseverlust weitgehend von Korngröße, Härte und Kantigkeit des Prüfmittels abhängt, ist auf Normkorund/Normsiliciumcarbid/Normsand zurückzugreifen. Die Masse der Prüfkör-

per ist vor und nach der Berieselung auf 0,02 mg zu bestimmen, der Masseverlust dient als Maß des G.

– *Trommelverfahren nach Gareis*



Gerät zur Prüfung von Glasuren auf Abrieb

1 Stativ mit Stativplatte, Stativstab, Stativklemme, Doppelmuffe
2 Aufnahmetrichter
3 Trichtereinsatz
4 Führungstrichter
5 Gummischlauch
6 Führungsrohr aus Glas
7 Becherglas 5 l, hohe Form
8 Halteschiene
9 Holzklötzchen für Probenauflage
10 Zentrierkreuz, Karton 0,5 dick
11 Trichtereinsatz, Bandstahl kaltgewalzt, Oberfläche beidseitig verzinnt

Um die mechanische Beanspruchung von Geschirr in Spülmaschinen bei gleichzeitiger Einwirkung von Speisesäuren und alkalischen Waschmitteln zu simulieren, werden 10 glasierte (und dekorierte) Proben von 50 mm Durchmesser in 10-Liter-Porzellankugelmühlen einmal in 7 Liter 5 %iger Essigsäure und einmal in 7 Liter 2,5 %iger Sodalösung 4 000 Umdrehungen ausgesetzt. Entsprechend den Schlagverletzungen, den Schleifstrukturbildern und dem Zerstörungsgrad der Dekore werden die Prüflinge klassifiziert.

[340]

Glasurabschreckprüfung nach *Harkort* – *Verfahren zur Beurteilung der Rißsicherheit von glasierten Erzeugnissen.*

Die Rißsicherheit von glasierten keramischen Erzeugnissen wird vom Ausdehnungsverhalten von Scherben und Glasur, von der mechanischen Festigkeit der Glasur und evtl. vom Quellverhalten des Scherbens beeinflußt. Das von *Harkort* auf diese Sachverhalte zugeschnittene Prüfverfahren sieht vor:

Die Probe (glasierte keramische Becher bzw. Teile vom Fertigerzeugnis) wird auf 100 °C, 100 + 10 °C, 100 + 20 °C usw. erhitzt und danach jeweils in Wasser von 20 °C abgeschreckt. Aus der Temperatur, bei welcher die erste Rißbildung zu beobachten ist, läßt sich ein Maß für die Glasurrißsicherheit ableiten.

Für Steingut* gibt *Harkort* folgende Skala an:

Rißbeginn bei 120 °C	– Haltbarkeit wenige Tage
Rißbeginn bei 150 °C	– Haltbarkeit 3 bis 4 Monate
Rißbeginn bei 160 °C	– Haltbarkeit 15 Monate
Rißbeginn bei 170/180 °C	– Haltbarkeit 2 bis 3 Jahre
Rißbeginn bei 190 °C	– absolut rissefrei.

[133, 185, 340]

Glasuraufbereitung – *Überführen der laut Glasurversatzberechnung* aufgestellten Rezeptur in eine zum Glasieren* geeignete wäßrige Suspension, den sog. Glasurschlicker*

Die laut Rezeptur/Versatz einzuwägenden Komponenten, die sämtlich in wasserunlöslicher Form vorliegen müssen, werden in Trommelmühlen auf eine Feinheit gemahlen, daß auf dem Sieb mit Maschenweiten 63 µm für Porzellanglasuren prak-

tisch kein Rückstand, für Steingutglasuren <0,5 % Rückstand bleiben. Die Konsistenz* des Glasurschlickers muß so eingestellt sein, daß die beim Glasieren des getrockneten oder verglühten Formlings durch Wasseransaugen gebildete 0,3 bis 1,0 mm dicke Glasurpulverschicht haftet, d. h.,

- das Feststoff-Wasser-Verhältnis muß auf die vorgesehene Unterlage abgestimmt sein, meist festgestellt als sog. Litermasse; sie liegt z. B. für Geschirrkeramik im Tauchverfahren bei 1380 bis 1400 g l^{-1}, für technisches Porzellan im Tauchverfahren bei 1380 bis 1420 g l^{-1} und für Steingut im Sprühverfahren bei 1500 bis 1600 g l^{-1},
- die Viskosität, meist als Auslaufzeit von Viskosimetern geprüft, muß entsprechend abgestimmt sein, zur Korrektur werden Peptisationsmittel* herangezogen,
- um Sedimentationen zu verhindern, sollte ein Teil des einzuführenden Al_2O_3/SiO_2 als Feinkaolin* bzw. Ton (Bentonit*) eingebracht werden,
- zur Gewährleistung einer bestimmten Elastizität der rohen Glasurschicht können organische Klebemittel bzw. organische Kolloide zugesetzt werden.

Weitere Möglichkeiten zur Beurteilung von Glasurschlicker sind:

- Bestimmung des Adhäsionswertes – Wägung der Schlickermenge in g cm^{-2} auf einer mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch den Schlicker gezogenen Glasplatte,
- Wasseraufnahme – Wassermenge je cm^2 Oberfläche von einem Muster der Ware nach dem Eintauchen unter festgelegten Bedingungen,
- Auftragsmasse – Masse an Feststoffen in g cm^{-2} Oberfläche von einem Warenmuster nach Eintauchen in den Schlicker unter festgelegten Bedingungen.

[100, 110, 164, 254, 264]

Glasuren – *farblose, getrübte oder farbige, etwa 0,15 bis 0,4 mm dicke glasige Überzüge, meist silicatischer Natur, die durch einen Brand fest mit dem keramischen Scherben verbunden sind.*

Nach ihrer Genese stellen G. Gläser dar, die im Schmelz- bzw. Läuterstadium erstarrt sind und noch kristalline Relikte ungeschmolzener Rohstoffe, aber auch kristalline Neubildungen enthalten können; fast immer sind sie mit Blasen durchsetzt. Sie sind der Unterlage angepaßt und mit dieser über eine mehr oder weniger ausgeprägte Zwischenschicht* verbunden. Für Vergleiche von G. untereinander, zur Sichtbarmachung ihrer Reaktionsmöglichkeiten sowie zur Berechnung von Glasurversätzen* bedient man sich zweckmäßig der *Seger*formeln*.

Aufgaben der G.:

- ästhetische – den Scherben zu veredeln und ihm ein gefälliges Aussehen zu verleihen. Durch besondere Maßnahmen lassen sich dabei bestimmte Effekte erreichen, z. B. Krakelé-Glasur*, Kristallglasur*, Schlangenhautglasur*, Laufglasur* u. a.
- praktische – den Scherben gegen eindringende Feuchtigkeit abzudichten, gegen Verschmutzung und Abrieb zu schützen (ein glasierter Körper läßt sich leichter reinigen). Weiterhin übernehmen sie den Schutz von Unterglasurdekoren.
- technische – Verbesserung der mechanischen Festigkeit der Artikel, Erhöhung der Oberflächenhärte und der Isolationsfestigkeit.

G. können nach verschiedenen Aspekten unterteilt werden:

- *Rohglasuren*
  Sämtliche Komponenten werden roh mit Wasser zu einer Suspension vermahlen und als Glasur-Schlicker oder -Pulver auf den Scherben aufgebracht.
- *Fritteglasuren*
  Bleioxid, Alkaliverbindungen und Borsäure sowie andere toxische oder wasserlösliche Rohstoffe werden mit einem Überschuß von etwa der 1- bis 3fachen Molmenge SiO_2 vorgeschmolzen und in ein glasiges Granulat – die Fritte – überführt; die Fritte wird mit den Rohkomponenten zum Glasurschlicker weiterverarbeitet.
- Selbstglasur*,
- Salzglasur*,
- nach den eigenschaftsbestimmenden Oxiden, z. B. Blei-, Alkali-, Erdalkali-, Zinn-, Bor-, Zirkonglasur u. a.,
- nach den Rohstoffen, z. B. Feldspat*-, Kalk*-, Lehm*-, Ascheglasur*,
- nach den Trägerwerkstoffen, z. B. Porzellan-, Sanitärporzellan-, Steingut-, Kachelglasur u. a.,
- nach der Oberflächenbeschaffenheit, wie Glanz-, Matt*-, Kristall*-, Lauf-, halbleitende Glasur u. a.,

[14, 100, 110, 133, 144, 158, 185, 364, 365]
s. Glasurversatzberechnung, Glasuraufbereitung, Glasieren, Glasur-Scherben-System, Farbglasuren.

Glasuren, bleifreie – *in engerem Sinne Fritteglasuren, deren Zusammensetzung auf eine niedrige Schmelztemperatur und geringe Wasserlöslichkeit abgestimmt ist.*
Seit Bekanntwerden der Giftigkeit des Bleis wurde das Problem zu seiner Ablösung in Glasuren untersucht (bereits *H. Seger* 1884). Der niedrige Schmelzpunkt der b. G. wird durch Kombination von Alkali- und Erdalkalioxiden und fast stets durch B_2O_3 erreicht. *Lehnhäuser* gibt dazu folgende Grenzwerte an: 0,15 bis 0,35 Na_2O, 0,10 bis 0,20 K_2O, 0,10 bis 0,20 SrO, 0,25 bis 0,60 CaO, 0,15 bis 0,25 ZnO, 0,15 bis 0,40 Al_2O_3, 1,80 bis 3,50 SiO_2, 0,20 bis 1,50 B_2O_3.
Die Wasserlöslichkeit der Fritte ist dem Verhältnis $(Na_2O + B_2O_3)/(CaO + SiO_2)$ proportional und kann durch geringe Zusätze von Al_2O_3 stark gemindert werden.
[100, 254, 264]
*s. Seger*formel

Glasuren, bleihaltige – *durch niedrige Schmelztemperaturen, breite Schmelzintervalle, durch Brillanz und Glätte sowie durch hohe Leuchtkraft bei Einfärbungen ausgezeichnete Glasuren;* nachteilig ist ihre Neigung, in schwefelhaltiger Atmosphäre stumpf zu werden, und leichte Gelbfärbung.
Wegen der Giftigkeit des Bleis werden b. G. stets gefrittet eingesetzt; die wichtigste Fritte ist $PbO \cdot SiO_2$ mit einer Schmelztemperatur von 900 °C. Werden die Fritten mit höherem SiO_2-Anteil eingestellt, steigt die Schmelztemperatur, z. B. $PbO \cdot 1{,}1SiO_2$ auf 920 °C, $PbO \cdot 1{,}2SiO_2$ auf 940 °C, $PbO \cdot 1{,}3SiO_2$ auf 960 °C usw.; jedoch ab 1 150 °C verdampft Blei, so daß die G. entglasen bzw. unansehnlich werden können. Im System PbO–SiO_2–B_2O_3 liegt das niedrigste Eutektikum bei etwa 500 °C.
Wegen der mehr oder weniger vorhandenen Bleilässigkeit* dürfen b. G. nicht für Gebrauchsgeschirr eingesetzt werden. Jedoch ist der prozentuale Gehalt an Blei in einer Glasur nicht unbedingt ein Maß für die Bleilässigkeit. Die Abgabe von Blei wird wesentlich von seinem Bindungscharakter im Silicat und von den mit vorhandenen anderen Bestandteilen beeinflußt. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, niedrigschmelzende Glasuren ohne Zusatz von Blei zu entwickeln; ein völlig befriedigender Ersatz wurde bisher nicht bekannt, zumal b. G. gegenüber kleinen technischen Unregelmäßigkeiten weniger empfindlich sind als bleifreie. [100, 254, 264, 365]

Glasuren, deckende – *mit Hilfe von Trübungsmitteln* undurchsichtig (opak) gemachte Glasuren,* um eine unerwünschte/unansehnliche Farbe des Scherbens zu verdecken.
Die älteste Form einer d. G. ist die Zinndioxid-Weißtrübung. Aus Preisgründen wird heute jedoch meist auf die Zirconiumdioxid-Trübung zurückgegriffen. Beide ergeben eine sehr gleichmäßige weiße Oberfläche, außerdem lassen sie sich von allen Farboxiden und Pigmenten* gleichmäßig gut einfärben. Borhaltige Verbindungen erzeugen eine ungleichmäßige Trübung (sog. Borschleier). Werden solche Glasuren eingefärbt, entstehen interessante und sehr belebte Farbnuancen. [254, 365]

Glasuren, halbleitende – *bei Hochspannungsisolatoren gebräuchliche Sonderglasuren, bei denen in die nichtleitende Glasphase halbleitende Verbindungen eingebracht werden.* Der spezielle Oberflächenwiderstand einer normalen Isolationsglasur beträgt etwa 10^{10} bis 10^{13} Ω, dagegen der einer h. G. etwa 10^6 bis 10^8 Ω. Durch den ständigen Stromfluß in der Glasur (wenige mA) hat der Isolierkörper eine Temperatur, die um 1 bis 5 K über der Umgebungstemperatur liegt. Eine h. G. erhöht die Regenüberschlagsspannung, vergleichmäßigt die Spannungsverteilung über den Isolierkörper und vermindert bzw. schaltet die Koronaanfangsspannung aus. Letzteres ermöglicht einen besseren Rundfunkempfang. Als leitende Verbindungen werden in die Glasur eingeführt: Fe_2O_3, Cr_2O_3, TiO_2, SnO_2, Sb_2O_3. u. a. Verbindungen vom Spinelltyp zeichnen sich durch hohe Stabilität aus. H. G. neigen zur Alterung und erhöhen im Laufe der Zeit ihren spezifischen Oberflächenwiderstand. Die Farbe der h. G. ist dunkelbraun bis schwarz.

Glasuren, transparente – *farblose, durch hohen Glanz ausgezeichnete G., die vorwiegend in der Kunstkeramik verwendet werden.* Nach ihrer Zusammensetzung können sie bleifrei sein oder mittleren bis hohen Bleigehalt aufweisen und durch färbende Oxide bzw. Pigmente* eingefärbt werden. [100]

Glasuren für nichtoxidische keramische Werkstoffe – *Oxydationsschutzüberzüge silicati-*

scher Basis auf Werkstoffen (z. B. Graphit, Carbide*, Nitride*), die bei normalem Sauerstoffpartialdruck der umgebenden Atmosphäre gegenüber ihren Oxiden nicht stabil sind.* Nach der Aufbringung der Glasuren ist zu unterscheiden:

- Glasieren* auf eine vorher auf die Unterlage aufgebrachte Engobe*. Eine solche Engobe enthält zweckmäßig außer keramischen Rohstoffen noch metallische Komponenten (für Graphiterzeugnisse z. B. metallisches Silicium).
- Glasieren ohne Engobe; der dazu einsatzfähige Glasurschlicker kann (in Abweichung von der traditionellen Glasiertechnik) z. B. lösliche Salze, wie Borax, Phosphorsäure, Bariumchlorid u. a., enthalten; ein Zusatz von Si-Metall ist z. B. bei Graphiterzeugnissen angezeigt.

Die Herausbildung der Glasur geschieht dann – wie üblich – in einem Brande. [366]

s. Schutzschichten.

Glasurfehler – *Unregelmäßigkeiten auf glasierten Oberflächen, die nicht den Normen entsprechen.* Sie können ihre Ursachen haben in

- ungeeigneter Glasurzusammensetzung oder ungenügender Aufbereitung,
- der angewandten Glasiertechnologie,
- falscher Brennführung,
- Gasbildungsreaktionen.

Die häufigsten Glasurfehler sind:

- *Glasurroller – glasurfreie Stellen* durch ungenügendes Benetzen des Scherbens infolge Ölflecken, Staub auf dem Rohling, Schweißflecken, ausblühende Salze, ungenügende Saugfähigkeit des Scherbens, zu feine Vermahlung, zu hohe Schwindung der Glasur u. a.,
- *Glasurläufer* (Verdickungen) durch zu geringe Drehzahl beim Begießen, zu geringes Abbremsen der rotierenden Stücke, zu hohe Dichte des Glasurschlickers,
- *Eierschaligkeit** (kleine trichterförmige Vertiefungen, matte Oberfläche) durch zu niedrige Brenntemperatur, zu flußarme Glasur,
- matte Stellen,
- *Neuhäuser* Dreieck*,
- gezehrte Glasur (feingenarbte Glasur ohne Glanz); die Ursache ist auf zu dünne Glasurlage bei schwachem Brand zurückzuführen,
- Blasen*.

[14, 133, 158, 164, 254]

Glasurprüfungen – *Mittel zur Erfassung und Beurteilung verschiedener Eigenschaften von Glasuren.* Die wichtigsten Prüfungen sind:

1) Erweichungs- und Schmelzverhalten
- Untersuchungen mit dem Erhitzungsmikroskop*
- Rinnenviskosimeter*
- Benetzung*

2) Sitz der Glasur
- Glasurspannungsprüfung nach *Steger* (s. Bilder *a*) und *b*))
  Ein in der Mitte glasierter Prüfstab wird einseitig in den Glasurspannungsprüfer eingespannt. Die beim Aufheizen und Abkühlen zu beobachtenden Ausschläge des freien Endes des Prüfstabes gestatten Aussagen, ob die Glasur unter Druck oder Zug steht (Prinzip des Bimetall-Verbunds).
- Prüfung auf Haarrißanfälligkeit durch dreistündige Druckprüfung bei 0,5 MPa im Autoklaven
- Schmelzkuchenprobe*
- Ringspannungsprüfung*
- Glasurabschreckprüfung*
- Dilatometrie*

3) Glasurabrieb*
- Trommelverfahren nach *Gareis*
- Sandrieselmethode
- Härte*

4) Chemische Resistenz/Korrosion*
- Bleilässigkeit*
- Prüfung mit Säuren/Laugen

5) Oberflächengüte
- Rauhigkeit*
- Glanz*
- Weißgrad*
- Farbbeständigkeit
- Oberflächenwiderstand, Lichtbogenfestigkeit

6) Frostwiderstandsfähigkeit*

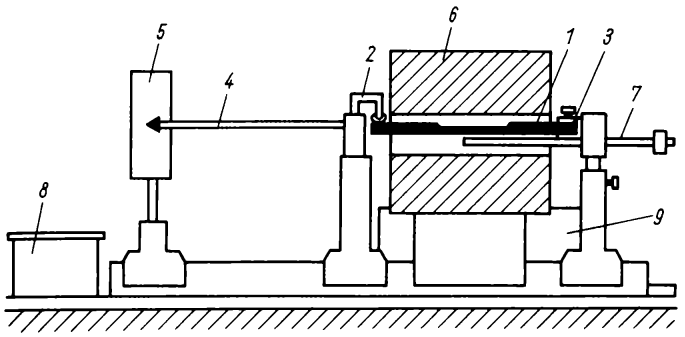
[100, 110, 133, 164, 254, 340, 370]

s. Glasurfehler

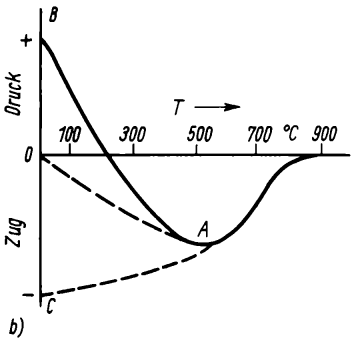
Glasur-Scherben-System – *Beziehungen und Veränderungen der Reaktionspartner Glasurpulver und Scherben im Brande, die zur Ausbildung der Glasur und zu Eigenschaftsänderungen des Sinterproduktes führen.*

Das G. ist im wesentlichen charakterisiert durch

- die Zwischenträgerschicht*,
- den mehr oder weniger stark ausgebildeten Saum von Blasen* in Glasur und Zwischenträgerschicht (als Ursache können wirken: primär – Nichtläutern der Glasurschmelze, einge-



a)



b)

a) Glasurspannungsprüfer nach *Steger*

1 Prüfkörper
2 Fühlhebel
3 Einspannvorrichtung
4 Fühlhebelzeiger
5 Registriertrommel
6 elektrischer Ofen
7 Thermoelement
8 Temperatur-Anzeigegerät
9 Regulierwiderstand

b) Spannungsdiagramm von Glasuren mit Spannungsprüfer nach *Steger*

AO spannungsfreie Glasur
AC Zugspannungsglasur
AB Druckspannungsglasur

schlossene Brennatmosphäre in den Poren des Scherbens; sekundär – Ausbrennen von etwa eingeschlossenem Kohlenstoff, Übergang des $2\,Fe_2O_3 \rightarrow 4\,FeO + O_2\uparrow$, gasender Feldspat u. a.; Blasen bis ∅ 80 µm in der Glasur sind nicht kritisch),

- mechanische Spannungen zwischen Glasur und Scherben auf Grund der unterschiedlichen *WAK*:
  - $\alpha_{Glasur} > \alpha_{Scherben}$, d. h., die Glasur zieht sich stärker zusammen; bei Überschreiten der Zugfestigkeit der Glasur bilden sich Haarrisse aus,
  - $\alpha_{Glasur} < \alpha_{Scherben}$, d. h., die Glasur steht unter Druckspannungen; bei starker Druckspannung sind Abplatzungen möglich; im allg. treten hier weniger Störungen auf. Da außerdem die Zugfestigkeit der Werkstücke verbessert wird, gibt man dieser Beziehung den Vorzug.

[14, 100, 110, 133, 254, 364, 370]

Glasurversatz, Berechnung – *praktische, rezepturmäßige Zusammenstellung der Rohstoffe nach gegebener Vorschrift, für Glasuren meist die Segerformel** (s. Tabelle S. 192).

Beispiel: Gegeben ist die *Seger*formel einer Weichporzellanglasur für die Glattbrandtemperatur 1 230 °C:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}25\,K_2O \\ 0{,}48\,CaO \\ 0{,}12\,MgO \\ 0{,}15\,ZnO \end{array}\right\} \; 0{,}30\,Al_2O_3 \cdot 2{,}8\,SiO_2 .$$

An Rohstoffen stehen zur Verfügung: Kalifeldspat $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ (556), Dolomit $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (184), Kalkspat $CaCO_3$ (100), Zinkoxid ZnO (81), ½ Kaolin roh $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$ (258), ½ Kaolin gebrannt $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$ (222), Quarzsand SiO_2 (60) (Die Klammerwerte geben die Molekülmassen der Rohstoffe an.).

[11]

s. Mühlenversatz

Glaswannenöfen – *auf kontinuierliche Arbeitsweise eingerichtete Herdöfen.* Ihre Länge beträgt je nach Leistung und Glasart 25 bis 60 m und mehr, Breite 2 bis 10 m und mehr. Vom technologischen Standpunkt ist die Glaswanne unterteilt in Schmelz-, Läuter- und Arbeitswanne. Das Einlegen des Gemenges (Rohstoffzusammenstellung) wird so gesteuert, daß der Glasstand in der Wanne

Berechnungstabelle

Rohstoff	K_2O	CaO	MgO	ZnO	Al_2O_3	SiO_2	Versatz in Masseteilen	
K-Feldspat	0,25				0,25	1,50	0,25 · 556	= 139,00
Dolomit		0,12	0,12				0,12 · 184	= 22,08
Kalkspat		0,36					0,36 · 100	= 36,00
Zinkoxid				0,15			0,15 · 81	= 12,15
½ Kaolin roh					0,025	0,050	0,025 · 258	= 6,45
½ Kaolin gebrannt					0,025	0,050	0,025 · 222	= 5,55
Quarzsand						1,20	1,20 · 60	= 72,00
Σ	0,25	0,48	0,12	0,15	0,30	2,80		293,23

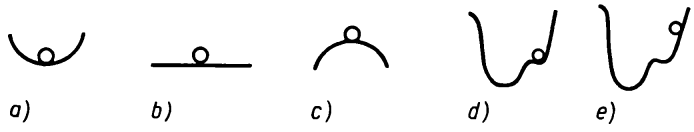
nur wenige mm schwankt. Die Beheizung erfolgt regenerativ und rekuperativ mit elektrischer Zusatzbeheizung bzw. vollelektrisch, wobei der elektrische Strom durch das bei hoher Temperatur leitende Glas geschickt wird. G. werden hauptsächlich für Massengläser eingesetzt.

Glattbrand – *Synonym für Garbrand**, der Hauptbrand (bei Porzellan etwa 1360 bis 1400 °C), bei dem das keramische Erzeugnis durch Ausfließen der Glasur* eine glatte Oberfläche erhält.

Gleichgewicht

1) Im engeren Sinne der Mechanik derjenige Zustand, in dem sich ein starrer Körper oder ein gekoppeltes System befindet, bei dem sich die Wirkungen aller am System angreifenden Kräfte gegenseitig aufheben. Ein *stabiles* G. liegt vor, wenn bei kleinen (beliebig gerichteten) Änderungen Kräfte auftreten, die den Ausgangszustand wieder herzustellen versuchen. Beim *indifferenten* G. hat eine Zustandsänderung überhaupt keine Folgen. Beim *labilen* (instabilen) G. bedingt eine kleine Zustandsänderung weitere größere Zustandsänderungen zur Erreichung des stabilen Zustands. Erfolgt keine Rückkehr in die G.-lage, so spricht man vom *metastabilen* G. Beim *statischen* G. ist die Vektorsumme der angreifenden Kräfte und die durch diese Kräfte bedingten Drehmomente Null. Ein *dynamisches* G. herrscht, wenn zwei entgegengesetzt gerichtete Vorgänge gleicher Stärke ablaufen und sich in ihren Wirkungen aufheben.

2) Im *thermodynamischen* G. befindet sich ein abgeschlossenes System (z. B. mehrere Phasen, Komponenten), wenn sich die in ihm ablaufenden Vorgänge (z. B. Reaktionen, Phasenumwandlungen) in ihrer Wirkung gerade gegenseitig aufheben, so daß der Zustand des Systems sich über die Zeit nicht verändert, dagegen geringfügige Änderungen einer Zustandsvariablen (z. B. Druck, Temperatur) zu entsprechenden Änderungen der anderen Variablen führen. Die Bedingungen für das thermodynamische G. lauten: die Entropie S darf sich nicht ändern ($\partial S = 0$) und muß ein Maximum $S = S_{max}$ erreicht haben. Als Nebenbedingungen gelten: U = konst.; V = konst.; N = konst.; dabei bedeuten U = innere Energie, V = Volumen und N = Teilchenzahl. Hat ein abgeschlossenes thermodynamisches System infolge innerer Hemmungen nicht den Maximalwert der Entropie erreicht, so spricht man von metastabilem oder gehemmtem thermodynamischem G. Diese Hemmungen können z. B. durch Katalysatoren, Kondensationskeime, Impfkristalle u. a. aufgehoben werden. An-



Gleichgewichte
a) stabil
b) indifferent
c) labil
d) metastabil
e) eingefroren bzw. abgeschreckt

dererseits kann man durch Abschrecken ein System einfrieren, d. h., der bei höheren Temperaturen vorliegende thermodynamische Zustand bleibt für tiefere Temperaturen erhalten.

3) Das chemische G. kann als ein Sonderfall des thermodynamischen G. aufgefaßt werden und kennzeichnet den reversiblen Zustand zwischen Reaktanden und Reaktionsprodukten. Ein *homogenes* G. ist charakterisiert durch einen vollkommen einheitlichen Zustand aller Partner, wie sie in Gasen, einheitlichen Flüssigkeiten, echten Lösungen und Schmelzen realisiert werden. Sind aber Stoffe mit verschiedenen Aggregatzuständen oder Phasen am Reaktionsgeschehen beteiligt, wie sie gerade im Bereich der Silicatchemie auftreten, spricht man von *heterogenem* G. Ein *stabiles* G. liegt dann vor, wenn sich die Konzentrationen der Reaktionspartner und Reaktionsprodukte unter bestimmten äußeren Bedingungen nicht mehr ändern. Tatsächlich tritt jedoch kein Stillstand der Reaktion ein, sondern im G. laufen Hin- und Rückreaktion weiter – nach außen jedoch nicht erkennbar – mit gleicher Geschwindigkeit ab; das *chemische* G. ist kein statisches, sondern ein dynamisches G. Das Reaktionsgeschehen läßt sich allgemein durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik in der Form

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad \text{bzw.} \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

H gesamte Enthalpie (Wärme) der Reaktion (in J)
G freie Reaktionsenthalpie, d. h. diejenige maximale Energiemenge, die in eine andere Energieart, z. B. Wärme, überführt werden kann (in J)
S Entropie des Systems (in $J\,K^{-1}$)
T Temperatur (in K)

darstellen.

Die Größe von ΔG und ihr Vorzeichen sind ein Maß für die chemische Triebkraft bzw. chemische Affinität einer Reaktion; eine Hinreaktion findet nur statt, wenn ΔG negativ ist. Das *chemische* G. ist durch $\Delta G = 0$ festgelegt. Von der Einstellung eines echten *chemischen* G. bei silicatischen Reaktionen kann nur mit Einschränkungen gesprochen werden, insbesondere

- Festkörperreaktionen laufen sehr langsam ab und täuschen wegen der geringen Reaktionsgeschwindigkeit nur ein G. vor,
- Phasenreaktionen bleiben wegen Keimbildungsschwierigkeiten oft in einem Zwischenstadium stecken,
- Ungleichgewichte* liegen häufig vor; zwar läuft die Hinreaktion ab, aber die Rückreaktion findet nicht statt.

Die Gründe für das Nichteinstellen des G. sind:

- Die spezifischen Oberflächen von Festkörpern sind um ein Vielfaches kleiner als die der Reaktanden in Gasen und Lösungen.
- Die hohe Viskosität silicatischer Schmelzphasen verzögert den Reaktionsablauf.
- Silicatische und oxidische Reaktanden bilden (nach der *Ostwald*schen Stufenregel) oft instabile oder metastabile Zwischenzustände.
- Die hohe Aktivierungsenergie erlaubt zwar die Hinreaktion, aber nicht die Rückreaktion.

Dagegen verlaufen Umsetzungen relativ vollständig, wenn die Reaktionspartner thermisch dissozieren und Gase abspalten. Oxide und Silicate erreichen – wie meist bei natürlichen Abläufen – selten in erster Näherung ein G., vielmehr herrschen hier irreversible Prozesse und Ungleichgewichte* vor.

Die Werte für G, S sind tabelliert, z. B. in [58, 59, 60].

[17, 60, 62, 64]

Gleiten (Translatieren) – *Verschieben von Gitterpaketen bei der plastischen Verformung von kristallinen Stoffen.* Das G. verläuft dabei auf bevorzugten Gitterebenen, sog. *Gleitlinien*. Man nimmt an, daß sich die Gitterbausteine im Translationssystem gerade so weit verschieben, daß sie wieder reguläre oder kristallographisch mögliche Gitterplätze einnehmen. Bei einigen Substanzen gleiten die Gitterpakete symmetrisch ab und erreichen Zwillingsstellungen. Das bekannteste Beispiel ist der Druckzwilling des Kalkspats.

Gleitmittel – *Hilfsstoffe, die einmal während der keramischen Formgebung* die Reibung zwischen den Feststoffteilchen untereinander sowie zwischen den Feststoffteilchen und den angrenzenden Teilen der Formgebungsaggregate (Matrizen, Mundstücke u. ä.) mindern und zum anderen das Ankleben von Masseteilchen an Formgebungswerkstücken verhindern.*

Für tonmineralhaltige bildsame Massen ist Wasser das natürliche G.; bei der Strangpreßformung erleichtert Wasserdampf den Gleitvorgang.

Massen, die nur wenige oder keine bildsamen Rohstoffe enthalten, werden G. in Form von Preßölen sowie Kohlenwasserstoffen zugesetzt. Preßöle enthalten meist mittel- bis langkettige Fettsäuren (z. B. technische Ölsäure = Olein), die aus der Ver-

seifung von natürlichen Fetten hervorgegangen sind. Diese Fettsäurekomponenten bilden auf der Oberfläche der Metallformen festhaftende Filme (sog. Epilamen) aus, wobei die unpolaren Paraffin/Olefinketten von der Metalloberfläche nach außen weisen und somit die Sorptionsgrundlage für andere Organomoleküle bilden können. Zur Sorption werden bevorzugt Kohlenwasserstoffe ohne polare Gruppen herangezogen, die nur geringe Bindungen zu den Massepartikeln aufweisen und damit als Schmierfilm wirken. An Kohlenwasserstoffen bieten sich hier Produkte aus der Erdölraffination, wie Petroleum und sog. Mittelöle, an.

Bei Trockenpreßmassen werden außer den o. a. organischen G. noch Anteile von Mg-, Zn-, Ba- und Al-Salzen von Stearinsäuren sowie wäßrige Emulsionen von Wachsen und langkettigen Paraffinen zugegeben. G. sollen rückstandsfrei ausbrennen, um die Eigenschaften des Scherbens nicht nachteilig zu beeinflussen.

[110, 123, 133]

Gleitmodul – *s.* Elastizitätskonstante

Gleitschleifen (Scheuern) – *Verfahren zum Schleifen von unregelmäßig geformten, stark gegliederten Massenartikeln in rotierenden Trommeln oder sog. Gleitschleifglocken unter Verwendung von Wasser als Schleifhilfsmittel und ggf. geringem Zusatz von Schleifmitteln.*

G. unterscheidet sich grundsätzlich vom üblichen zwangsgeführten Schleifen*; hier erfolgt der Materialabtrag durch Reibung der Werkstücke untereinander und mit dem Schleifmittel. G. wird angewendet zum Entgraten von trockengepreßten oxidkeramischen Artikeln nach dem Brand, zum Entfernen von angesinterten Brennhilfsmitteln, zum Polieren von Fadenführern o. ä.

Eine Weiterentwicklung des G. hinsichtlich Verkürzung der Bearbeitungszeit sowie der Anwendungsbreite bezüglich der Größe der Werkstücke (Vermeidung von Kantenausbrüchen) stellt das Vibrationsgleitschleifen dar. Vibrationsgleitschleifmaschinen bestehen aus freischwingend angeordneten, gummiausgekleideten Behältern, die von einer rotierenden Unwuchtwelle innerhalb eines veränderlichen Frequenz- und Amplitudenbereiches in Schwingungen versetzt werden. Vibrationsgleitschleifen leistet an jeder Behälterstelle durch Oszillation der Werkstücke zusammen mit speziell angepaßten Schleifkörpern eine intensivere Werkstücksbearbeitung. Oft wird zur Erhöhung des Wirkungsgrades des G. mit speziellen Netzmitteln gearbeitet. [123]

Glimmer – *Gruppenbezeichnung für eine Anzahl von Dreischichtmineralen, bei denen im allg. ein Viertel der Si^{4+} durch Al^{3+} ersetzt ist.* Die dadurch entstehende freie Valenz wird durch Alkalien abgesättigt. Die Alkaliionen befinden sich zwischen den Schichten und halten diese zusammen. Einige G. werden auch synthetisch hergestellt und haben als Dielektrikum in Hochfrequenzgeräten Bedeutung erlangt. Nach der Farbe unterscheidet man dunkle G. (wichtigster Vertreter Biotit) und *helle G.* (wichtigster Vertreter Muskovit oder Kali-G.).

Glockenverschluß – *Vorrichtung zum Verschließen der Heizschächte und der Öffnungen von Schmauchkanälen bei keramischen Brennöfen, besonders bei Ringöfen.* Ein glockenförmiger Deckel faßt in eine mit Sand gefüllte Krampe (Sandtasse) des Unterteils (z. B. des Heizlochringes), was einen dichten Verschluß bewirkt. Auch Kegelverschlüsse sind möglich.

Glockenzone – *s.* Ringofen

Glossex – nach dem Fundort Glossen in Sachsen benanntes hartes Quarzgestein (Quarzit), geeignet zum Ausmauern von Trommelmühlen.

Glühbrand (Schrühbrand, Rohbrand, Rauhbrand) – *erster sog. Vorbrand des unglasierten, getrockneten Formlings.* Der G. dient der thermischen Entwässerung der tonigen Anteile (Dehydroxylation*), der mechanischen Verfestigung und Erhöhung der Porosität des Scherbens. Nach dem G. folgen im Produktionsablauf das Glasieren* und der Glattbrand* (Sinterung*). Die Glühbrand-Temperaturen liegen für Hartporzellan etwa bei 900 bis 1 000 °C, für Weichporzellan etwa bei 800 bis 900 °C und für Steingut etwa bei 1 150 °C bis 1 250 °C.

Während für Porzellan die Glattbrandtemperaturen wesentlich über den Temperaturen des G. liegen, erfolgt der Glasurbrand des Steingutes etwa um 100 K unter den Temperaturen des Glühbrandes. Keramische Großkörper (Isolierkörper, Sanitärerzeugnisse) werden im allg. keinem G. ausgesetzt, sie werden roh glasiert und nach Trocknung glattgebrannt. [110, 143, 164, 185]

Glühfadenpyrometer (Teilstrahlungspyrometer) – *Gerät zur berührungslosen Messung von Temperaturen > 650 °C, eingestellt auf eine feste Wellen-*

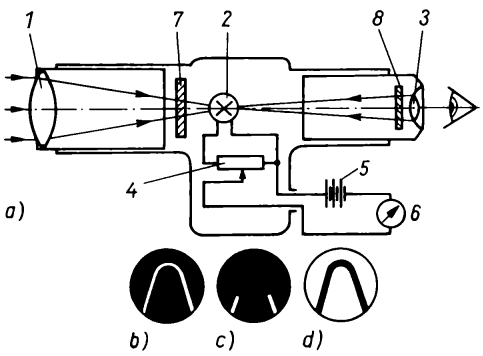
länge im Bereich des sichtbaren Lichtes. Die Abhängigkeit zwischen Temperatur des Meßgegenstandes und Strahlungsenergie wird durch die Gleichung von *Planck* beschrieben:

$W_{\lambda s} = C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2/\lambda T^{-1})]^{-1}$

C_1, C_2 Konstante ($C_2 = 1{,}438 - 10^{-2}$ m K)

λ Wellenlänge (z.B. $\lambda_{rot} = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$ m; im Bereich $T < 2000$ K kann der Subtrahend -1 vernachlässigt werden).

Damit läuft die Temperaturmessung auf einen Helligkeitsvergleich des Meßgegenstandes mit der einstellbaren Helligkeit eines Glühfadens hinaus. Den prinzipiellen Aufbau eines G. zeigt das folgende Bild.



Aufbau eines Glühfadenpyrometers
a) Geräteschema
b) Meßgegenstand dunkler als der Glühfaden
c) Meßgegenstand mit gleicher Helligkeit
d) Meßgegenstand heller als der Glühfaden

Mit Hilfe des Linsensystems (*1*; Objektiv) wird das Bild des Meßgegenstandes in die Ebene der Vergleichslampe (*2*) projektiert. Glühfaden der Lampe und Objekt werden gleichzeitig durch das Okular (*3*) beobachtet. Der Rotfilter (*8*) läßt die Beobachtung nur für die Wellenlänge $\lambda = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$ m zu. Die Helligkeit des Glühfadens wird durch Veränderung des Widerstandes (*4*), der sich in dem von einer Batterie (*5*) gespeisten Stromkreis befindet, eingestellt. Der Glühfaden hat die richtige Helligkeit, wenn seine Spitze im Bild des Objekts verschwindet (*c*). Auf dem Amperemeter (*6*) kann die augenblickliche Stromstärke bzw. die Temperatur abgelesen werden. Für Temperaturen >1400 °C erfolgt eine Meßbereichserweiterung durch Einblenden eines Rauchglasfilters (*7*). [22, 362]

s. Pyrometer, Strahlungspyrometer

Glühgrade – *grobe Abschätzung der Temperatur des Ofengutes nach der Helligkeit.* Bei einiger Erfahrung läßt sich aus der Farbe des Brenngutes die ungefähre Temperatur ableiten. Es darf aber nicht die hellere Strahlung der Heizelemente anvisiert werden; dies würde zu falschen Schlüssen führen.

Anfangen des Glühens:	etwa 530 °C
Dunkelrotglut:	etwa 700 °C
Kirschrotglut:	800 bis 900 °C
helles Glühen:	etwa 1200 °C
Weißglühen:	etwa 1300 °C
starke Weißglut:	etwa 1400 °C
blendende Weißglut:	1500 bis 1600 °C

Glühschamotte – *bei Temperaturen von 800 bis 900 °C thermisch entwässerter Ton, der meist als Magerungsmittel anderen Massen zugesetzt wird.*
G. ist nicht volumenbeständig, d. h., die Brennschwindung ist noch nicht abgeschlossen; entsprechend der Brenntemperatur ist sie auch frei von Mullit. [184, 340]

Glühverlust – *im Brand eingetretene Masseverminderung,* bezogen auf die Trockenmasse.
G. wird hervorgerufen durch das Ausbrennen organischer Substanzen, thermische Zersetzung der Carbonate, Austritt von Kristallwasser, Dehydroxylation*.

s. Thermowaage

Glühware – Sammelbegriff für geglühte (s. Glühbrand), aber noch nicht glasierte, gesinterte und dekorierte Ware.

Glycerin ($CH_2OH-CHOH-CH_2OH$) – *der einfachste dreiwertige, gesättigte Alkohol.* Es ist eine viskose, süßschmeckende, hygroskopische, farblose und geruchlose Flüssigkeit; $D = 1{,}26$ g cm^{-3}. G. ist mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar. Verwendung bei oxidkeramischen Trockenpreßmassen als Binder sowie als Malmittel bei Unterglasurfarben.

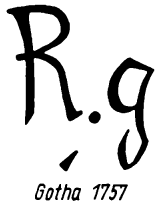
Gneis – *metamorphes Gestein, das aus Quarz, Feldspat (Orthoklas) und Glimmer besteht (wie Granit).* Man kann die G. nach den Mineralen einteilen (Biotit-, Muskovit-, Augit-, Hornblende-G. u. a.) oder nach der Textur (körniger, schieferiger, faseriger, Augen-G.).

Goethit – *s.* Eisenhydroxid

Goldchlorid ($AuCl_3 \cdot 2H_2O$) – *gelbbraune, wasser- und alkohollösliche Kristalle.* Bei Rotglut zerfällt die Verbindung in Au und Cl. Eine wäßrige

Lösung des G. kann als Lösungsfarbe zum Vergolden von Porzellan sowie zur Herstellung purpurroter Steingutglasuren verwendet werden. G. dient auch zur Herstellung von Goldpurpur, Polier- und Glanzgold, zum Nuancieren der Purpurfarben u. a.

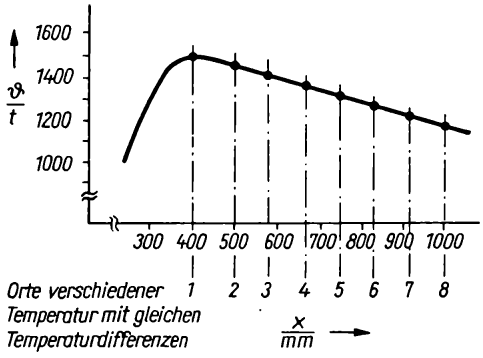
Gothaer Porzellan – *Erzeugnis der 1757 gegründeten Manufaktur,* die sich auf Luxuserzeugnisse (kombinierte Kaffee- und Teeservices im Stile Ludwigs XVI., hervorragende Landschafts- und Blumenmalereien u. a.) spezialisierte. Frühe Erzeugnisse hatten als Marke ein »R« in Unterglasurblau, danach erschienen nach 1787 »Rg« bzw. »R. g.«, seit 1805 »Gotha« (Unterglasur), seit der 1. Hälfte des 19. Jh. eine Henne auf Berggipfel mit der Unterschrift »Porzellanmanufaktur Gotha«.



Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Gotha

Gradientenofen – *ein besonders für die Anmusterung keramischer Probekörper konstruierter Ofen,* der unter Ausnutzung eines Temperaturgradienten während eines Brandes die gleichzeitige Sinterung einer größeren Anzahl von Prüfkörpern einer Charge bei verschiedenen Temperaturen erlaubt.

Durch die Vielzahl von Temperaturwerten (im Bild ein Temperaturbereich von 1150 bis 1500 °C) ist es möglich, die optimale Sintertemperatur einer Werkstoffcharge, die üblicherweise in einer Anzahl von Einzelbränden ermittelt werden muß, in einem einzigen Brande zu finden und somit die Zeit für Freigabe/Massekorrektur/Ausfall der Charge wesentlich zu verkürzen. [356]

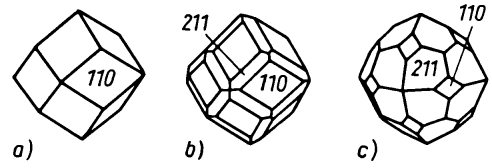


Orts-Temperatur-Kurve

Granate – *Mineralgruppe mit der allgemeinen Formel* $A_3B_2[SiO_4]_3$

A = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}
B = Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}

Kristallographie: kubisch; gut ausgebildete Kristalle, besonders häufig Rhombendodekaeder (12-Flächner); s. Bild



Kristallformen der Granatminerale
a) Rhombendodekaeder, *b*) und *c*) Kombination Rhombendodekaeder – Ikositetraeder

Physikalische Eigenschaften: $H = 6$ bis 7,5; $D = 3{,}51$ bis $4{,}25\,g\,cm^{-3}$

Bekannte Vertreter:

Pyrop $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$	dunkelrot
Grossular $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$	blaßgrün
Almandin $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$	braunrot
Uwarowit $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$	smaragdgrün

Letzterer wird als sog. viktoriagrünes synthetisches Pigment in der Keramik herangezogen.
[8, 336]

Granit – *Tiefengestein;* Mineralbestand: Quarz, Feldspat, Glimmer; zeichnet sich durch große Härte und Verschleißfestigkeit aus; läßt sich relativ gut in ebenflächige Körper teilen.
Verwendung: Pflastersteine, Schwellen, Blöcke, Schotter, Feldspatersatz.
Zahlreiche Kaolinlagerstätten gehen auf G. zurück.

Granitporphyr – *Ganggestein,* das sich vom Granit durch seine porphyrische Textur unterscheidet. In einer mikrogranitischen Grundmasse befinden sich Einsprenglinge von Quarz und Feldspat; häufig Ausgangsmaterial für Kaoline.

Granulieren (lat.: granum = Korn) – *Überführen von flüssigen, pastösen oder pulverförmigen Stoffmengen in einen rieselfähigen Zustand mit begrenztem Korngrößenbereich, dem Granulat.* Ziel des G. ist, Massen, die vorwiegend für das Trocken- oder do-

sierte Feuchtpressen eingesetzt werden, eine gute Rieselfähigkeit und möglichst konstante Schüttmasse bei geringem Schüttvolumen zu geben. Die Korngröße des Granulats richtet sich nach Größe und Form des herzustellenden Artikels und liegt i. allg. im Bereich von 0,5 bis 2 mm.

Vom Verfahren her unterscheidet man bei Pulvern:

Komprimiergranulieren

Unter Zugabe von Gleit- und Bindemitteln wird das Pulver zur Emulsion gemischt und verpreßt, die Preßlinge grob zerkleinert und das Granulat über Siebe getrennt.

Aufbaugranulieren

Unter Zugabe von Gleit- und Bindemitteln wird die Emulsion in eine beheizte Granuliertrommel gegeben; durch Rotation der geneigten Trommel wird das Gut angehoben und rollt ab.

(maschinentechnische Lösungen: Granulierteller*, Wirbelschichtgranulierung*)

Sprühtrocknungsgranulieren

Das suspendierte Pulver wird mittels rotierender Düsen an beheizte Metallwände oder über Düsen im Heißluftstrom eines Sprühtrockners* versprüht; durch Verdampfen der Flüssigkeit entsteht Feinstgranulat.

Granulierteller – *Aggregat zur Überführung eines Pulvers in ein rieselfähiges Granulat.*

Die maschinentechnische Lösung eines G. zeigt Bild 1. Das Anfahren eines G. erfolgt, indem zu einer auf dem Teller befindlichen Pulvermenge eine bestimmte Flüssigkeitsmenge hinzugegeben

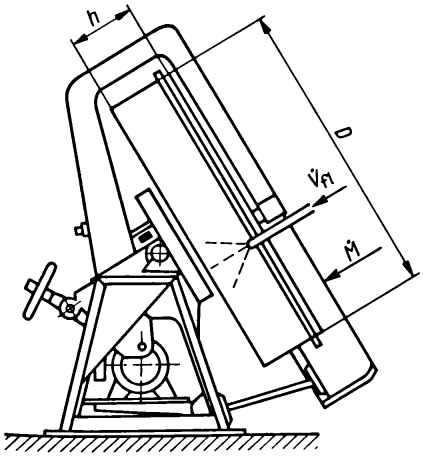


Bild 1. Granulierteller

und in der Anfahrphase diese Teilmenge zu Keimmaterial granuliert wird. Nach dem Anfahren kann im Dauerbetrieb die Dosierung des Pulvers und der Flüssigkeit kontinuierlich ablaufen und das fertige Granulat durch Überlauf entnommen werden, wobei durch den Klassiereffekt ein relativ enges Kornband im Produkt vorliegt. Den Bewegungsablauf auf dem G. zeigt Bild 2.

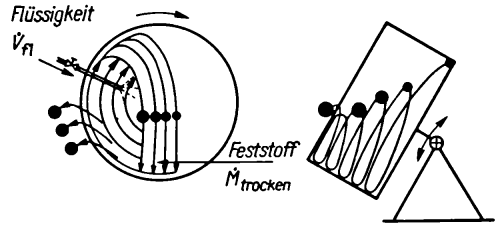


Bild 2. Schematische Darstellung des Bewegungsablaufes auf einem Granulierteller

Der Granulierungsprozeß wird durch folgende Parameter charakterisiert:

- Einstellgrößen
  Maschinenparameter:
  D Tellerdurchmesser β Neigung des Tellers
  n Drehzahl des Tellers h Randhöhe
  technologische Parameter:
  $\dot{M}$ Massestrom
  $\dot{V}_{fl}$ Flüssigkeitsstrom
  Ort der Flüssigkeitsaufgabe
- Zielgrößen
  $\dot{M}$ Massestrom
  σ_D Druckfestigkeit der Pellets, Abriebfestigkeit der Pellets
  d Granulatgröße
  g_{fl} Flüssigkeitsanteil in der Partikel (Feuchtigkeit)

[112, 325, 369]

Graphit – *stabile Form des Kohlenstoffs.*

Kristallographie: α-C hexagonal (α'-C ditrigonal, selten)

Physikalische Eigenschaften: eisenschwarz bis stahlgrau; $H = 1$ bis 2; $D = 2{,}09$ bis $2{,}23\,\mathrm{g\,cm^{-3}}$; o. D.: $n = 1{,}93$ bis 2,07; optisch negativ. G. hat eine charakteristische Schichtstruktur, die C-Atome bilden dabei hexagonale Netze. Die elektrische Leitfähigkeit beträgt parallel zu den Schichten $\sigma_{\parallel} = 2{,}5 \cdot 10^4\,\Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$, senkrecht dazu $\sigma_{\perp} = 4\,\Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$; der Temperaturkoeffizient beträgt in der Schichtebene $\alpha_a = -1{,}3 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$ und senkrecht dazu $\alpha_c = 27 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$.

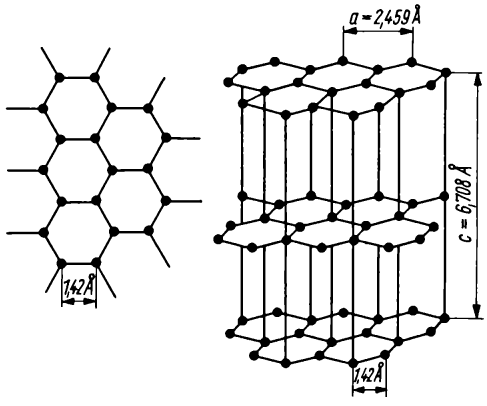
Der durch thermische Zersetzung kohlenwasserstoffhaltiger Gase gewonnene Pyro-G. zeichnet sich durch hohe Reinheit, geringen Fehlordnungsgrad und hohe Dichte aus, während die thermische Zersetzung von Cellulose glasartigen (amorphen) G. liefert.

Verwendung: Zusatz für hochtemperaturbeanspruchte keramische Erzeugnisse, Reaktormaterial, Elektroden, Schmiermittel u. a.

Graphiterzeugnisse – aus Graphit, Ton und Zusätzen, wie Rohschamotte, Quarzsand, SiC und Si hergestellte sog. *tongebundene Graphiterzeugnisse*, die häufig glasiert sind. Sie haben gegenüber Schamotte-Erzeugnissen eine bessere *TWB*, Verschlackungs- und Druckfeuerbeständigkeit. In den entsprechenden Versätzen kann G. bis zu 60% enthalten sein. Formgebung erfolgt durch Pressen, Drehen oder Stampfen, Brennen in reduzierender Atmosphäre. Die bekanntesten Graphiterzeugnisse sind Schmelztiegel für Kupfer, Aluminium u. a. Zu ihrer Herstellung wird gereinigter, grobflinziger Graphit verwendet. Die Massen setzen sich zusammen aus: 0 bis 40% Schamotte, 20 bis 60% G. und 20 bis 60% hochbildsamem niedrig sinterndem Ton. Die Tiegel werden unter Einbettung in Koksgrus in Kapseln bei 900 bis 1000 °C gebrannt. Weitere Erzeugnisse sind Stopfen, Ausgüsse, Pfannensteine, Retorten, Gießtrichter u. a.

Graphitisierungsgrad – *Ordnungsgrad, der die Abweichungen der Kohlenstoffebenen vom idealen Graphitgitter beschreibt* (s. Bild).

Die normale Packungsfolge im Graphitgitter ist A B A B ..., der C–C-Abstand beträgt im Graphit-Einkristall und in fast allen synthetisch hergestellten Graphiten 142 pm (= 1,42 Å). Durch Gleitverschiebung kann z. B. eine Schichtenfolge A B C A ... von trigonaler Form entstehen; tritt zur Verschiebung noch Verdrehung hinzu, spricht man von turbostatischem Gefüge. In diesem Falle kann der Schichtenabstand von 335,4 pm auf 344 pm ansteigen. Diese gestörten Strukturen sind im allgemeinen instabil und können durch thermische Behandlung nachgeordnet werden. [133, 402]



Struktur des Graphitkristalls

Graphitwiderstand – *Widerstandskörper für die Elektrotechnik, der sich aus einem alkalifreien Porzellankörper und einer aufgebrachten Widerstandsschicht aus Graphit aufbaut.* Bei der Herstellung der G. werden die Porzellanträger bei ≈900 °C mit Benzoldampf u. a. Gasen angereichertem Stickstoff behandelt, dabei scheidet sich Graphit aus der Gasphase ab und schlägt sich als Schicht nieder. Die graphitierten Körper werden kontaktiert und mit einer Lackschicht überzogen. Der Widerstandswert wird durch den Ofenprozeß eingestellt und durch Einschleifen von Spiralnuten auf der Mantelfläche abgeglichen.

Greiner, Gotthelf (1732–1797) – Glasmacher, erfand unabhängig von *Böttger* und *Macheleid* in Katzhütte (Thüringen) das Porzellan. Er gründete die Porzellanbetriebe in Wallendorf (1764) und Limbach (1772), erwarb 1782 den Betrieb in Großbreitenbach und wenige Jahre später noch den Porzellanbetrieb in Ilmenau.

Grenzfläche – *geometrische Grenze zwischen zwei verschieden kondensierten Phasen bzw. Körpern.* Ist eine angrenzende Phase gasförmig, spricht man üblicherweise von Oberflächen. Grenzfläche stellt also den Oberbegriff dar. Eine G. hat zwei Aspekte,

- einmal trennt sie die Atome/Moleküle zweier verschiedener Phasen,
- zum anderen ist sie eine Grenze verschiedener Eigenschaften, also eine Grenze der Kräfte.

G. zwischen verschiedenen Phasen derselben Substanz zeigen nur den zweiten Aspekt. Eine scharfe G. stellt immer eine Unstetigkeitsfläche dar, denn beim Übergang von dem einen in das andere Medium ändern sich die charakteristischen stofflichen Eigenschaften, z. B. Brechungsindex, Dielektrizitätskonstante, Leitfähigkeit, Dichte, *WAK* u. a. Im submikroskopischen Bereich ist die G. nicht ideal; es existiert möglicherweise ein auf wenige Atomabstände beschränkter Übergangsbereich, in

dem sich die Eigenschaften allmählich ändern. Die in einer G. liegenden Bausteine sind gegenüber denen im massiven Material energetisch ausgezeichnet, da sie nach einer Seite hin anderen Bindungskräften unterworfen sind.
Die spezifische Grenzfläche stellt den Quotienten aus Volumen und Grenzfläche einer dispergierten Substanz (in cm) dar, sie gilt als Maß für den Dispersitätsgrad und bestimmt das Ausmaß, in dem die Anteile der Grenzflächenenergie für das thermodynamische Verhalten der Substanz mitbestimmend werden. [16, 17, 61, 64, 84]
s. Oberfläche, Oberflächenenergie, Benetzung

Grenzflächenenergie (Grenzflächenspannung, Maßeinheit $J\,m^{-2}$ bzw. $N\,m^{-1}$) – *an den Berührungsflächen von festen und flüssigen bzw. von zwei verschiedenen festen Stoffen sich ausbildender Spannungszustand auf Grund der in den beiden Medien vorliegenden unterschiedlichen Bindungskräfte.* Die G. strebt immer den Zustand einer minimalen Grenzfläche* an.
G. von Festkörpern und Flüssigkeiten gegenüber Gasphasen werden per definitionem als Oberflächenenergie* bzw. -spannung* bezeichnet.
G. spielen beim Benetzen* und bei der Sinterung* eine wesentliche Rolle. [64, 144]

Grieß – *Glasurbrennfehler;* verschieden große, pockenartige Auftreibungen (mit Hohlraum), in Durchmesser und Höhe unter 1 mm, auf dem glattgebrannten feinkeramischen Erzeugnis. Eine Abhilfe kann oft durch Verglühen nicht <950 °C und längere Verweilzeit im Glühfeuer erreicht werden.

Griffestigkeit – *geforderte Eigenschaft einer auf den Scherben aufgetragenen, noch ungebrannten Farbe bzw. Farbfläche,* damit sie bei vorsichtiger Handhabung die weiteren Arbeitsgänge vor dem Einbrennen ohne Beschädigung übersteht.

Grobkeramik
1) Zweig der keramischen Industrie, der aus einem oder wenigen Rohstoffen nach keramischer Technologie Erzeugnisse mit vorwiegend farbigem Scherben und einer Inhomogenitätsgrenze >0,2 mm (d. h., im Bruch des Scherbens lassen sich mit bloßem Auge heterogene Bezirke ausmachen) herstellt.
2) Erzeugnisse dieses Industriezweiges. Sie sind vorwiegend als Baustoffe zu klassifizieren. Haupterzeugnisse sind Ziegel, Klinker, Drainagerohre u. a. Im weitesten Sinne werden auch die Erzeugnisse der Steinzeug- und Fliesenindustrie zur G. gezählt.
[157]
s. Feinkeramik

Großbreitenbacher Porzellan – *Erzeugnisse einer 1779 in Großbreitenbach gegründeten Porzellanmanufaktur.* Es wurde einfaches volkstümliches Porzellan hergestellt, von Kaffee- und Teeservices bis zu Pfeifenköpfen, gegen Ende des 19. Jh. auch Figuren, Vasen, Dosen u. a.; bekannt sind schlichte Blaublümchenmuster.
Die Marke bestand bis Ende 1787 aus LB, danach zwei gekreuzte L, später ein Kleeblattzeichen. 1973 wurde der Betrieb volkseigen und danach Betriebsteil des VEB Henneberg-Porzellan Ilmenau.

Großraumtrockner – *Anlagen zum Trocknen großer Mengen keramischer Formlinge.* Meist befinden sich G. (ohne Kammereinteilung) über Ring-, Zickzack- oder Kammeröfen, deren Konvektionswärme sowie abgesaugte Warmluft aus der Kühlzone als Wärmequelle genutzt wird. Die Regulierungsmöglichkeit eines G. ist gering, da die Luftströmung ohne besondere Führung verläuft und nur auf Dichteunterschieden beruht. Die Trocknungsdauer in G. beträgt 3 bis 10 Tage, günstig für trockenempfindliche Formlinge (s. Bild S. 200).

***Grüneisen*-Beziehung** – *Zusammenhang zwischen dem linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten* α *und der Molwärme* C_V *eines Festkörpers**.
Mit Hilfe der G.-B. läßt sich die Wärmedehnung kristalliner Stoffe berechnen:

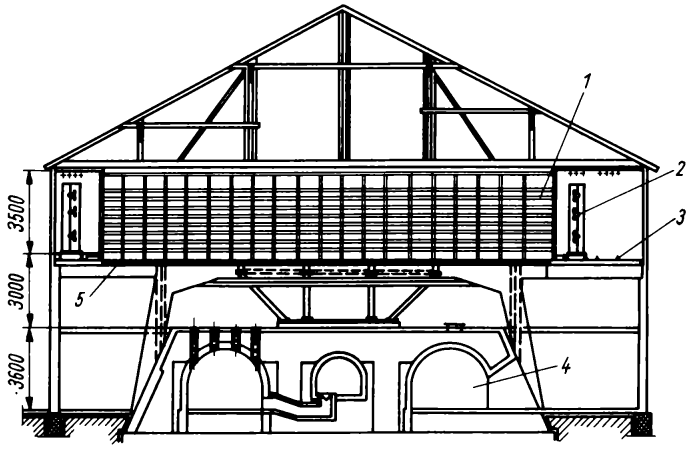
$$\alpha = \gamma \frac{\varkappa C_V}{V}$$

γ *Grüneisen*-Parameter (für Kristalle etwa 2)
$\varkappa$ Kompressibilität*
V Molvolumen.

Die G.-B. ergibt sich aus der *Debye*schen Näherung der Gitterschwingungen und ist für Kristalle annähernd konstant. Der *Grüneisen*-Parameter ist mit der *Debye*-Temperatur θ verbunden nach

$$\gamma = -\frac{V}{\theta}\frac{d\theta}{dV}.$$

Grünmalerei – *wirkungsvolle sattgrüne Malerei auf der Grundlage des Chromoxids, in der Regel als Unterglasurdekoration ausgeführt.* Das Chromoxid löst sich nicht in der Glasur, sondern bleibt als



Dachziegel-Großraumtrockner (nach *Krause*)
1 Trockengerüst
2 Lüfterwagen
3 Schiebebühnengleis
4 Ringofen
5 Rippenrohrheizung

deckendes Farbkorn (Pigment) zwischen Scherben und Glasur. Dadurch ergeben sich flächige, unschattierte, silhouettenartige Ornamente und Konturen, ohne irgendwelche feinen Übergänge. Sehr bekannt wurde die 1817 in Meißen entwickelte Unterglasur-Weinlaubkante.

Gummiarabicum – *Bezeichnung für den bei tropischen Akazienarten (Indien, Afrika) ausfließenden gelben bis braunen klebrigen Saft.* Er ist in Wasser löslich und erhärtet meist an der Luft. Die wäßrige, klebrige, fade schmeckende Lösung wird als Malmittel für Unterglasurfarben verwendet.

Gummiharz – *erhärtete Lösungen von Harzen in gummiartigen Stoffen.* Sie werden aus den Milchsäften einiger Pflanzen gewonnen. Die Harze sind die alkohollöslichen, die Gummistoffe die wasserlöslichen Anteile. Für keramische Zwecke kommen Gummiarabicum und Tragant in Frage. Infolge ihres hohen Preises werden sie meist nur Spritzglasuren und Unterglasurfarben beigemischt.

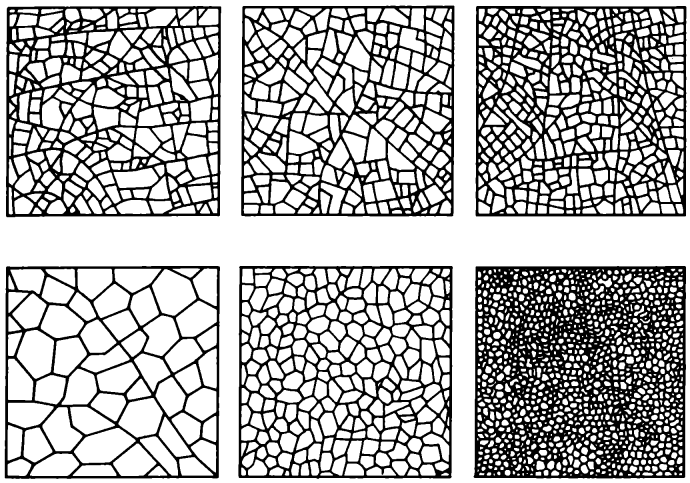
H

Haarkristall (Whisker) – *Sonderform von Kristallen, bei denen bevorzugtes Wachsen in Richtung der Basis vorliegt, während die Seitenflächen Wachstumsstillstand zeigen.* Von Nadelkristallen spricht man, wenn das bevorzugte Wachsen in Richtung der Kristallspitze erfolgt. Die bevorzugten Richtungen entsprechen im allgemeinen niedrig indizierten kristallographischen Richtungen (Flächen). H. können aus Lösungen, Schmelzen, fester Phase und Dampf entstehen und zeichnen sich u. a. durch hervorragende Festigkeitswerte aus. So wurden z.B. an Al_2O_3- und MgO-H. Zugfestigkeiten von 1/10 des *E*-Moduls gemessen (das entspricht fast der theoretischen Festigkeit). Als Erklärung dafür werden genannt:

- H. sind fehlerfreie Idealkristalle,
- H. enthalten Versetzungen, die irgendwie (vielleicht durch Verunreinigungen) blockiert sind, so daß sie sich weder bewegen noch vervielfältigen können.

Haarrisse – *Glasurfehler, bei dem feine Risse netzartig die Glasur durchziehen.* Die Ursache der H. liegt im höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Glasur gegenüber dem Scherben. Die bei Steingut häufig auftretenden H. sind auf nachträgliche Feuchtigkeitsaufnahme des porösen Scherbens zurückzuführen.

Haarrißglasur (Krakelee-Glasur) – *Dekorart, bei der das Entstehen von Haarrissen in der Glasur absichtlich herbeigeführt wird.* Die Glasur wird mit erheblich größerem Ausdehnungskoeffizienten hergestellt als der Scherben, indem man einen Teil des Kalkspats in einer normalen Porzellanglasur durch Feldspat ersetzt. Die Risse werden mit Farbe ausgefüllt, und es erfolgt ein weiterer Brand. Mit Hilfe stark schwindender Tone und reichlichen Dextrinzusatzes lassen sich auch farbige oder farblose Haarrißengoben erzielen, die anschließend noch glasiert werden (s. Bilder).



Oberfläche einer Krakelee-Glasur

Habaner Fayence – Bezeichnung für Gefäße der ungarischen Hafnerkunst des 16. und 17. Jh., zurückzuführen auf die Habaner, Mitglieder einer Wiedertäufersekte, die aus Italien oder Schwaben vertrieben worden waren.

Habitus der Kristalle (lat.: habitus = Kleidung) – *Gesamtgestalt, die durch die Größenverhältnisse der einzelnen Flächen bestimmt ist.* Der H. kann tafelig, nadelig, prismatisch u. a. sein und ist insbesondere abhängig von Druck, Temperatur und den anderen mitwachsenden Kristallen.

Hafner – *oberdeutsche Bezeichnung für Töpfer* (Hafen steht oberdeutsch für Gefäß). Hafnerware ist im engeren Sinne glasierte Töpferware (Irdenware, -geschirr), d. h. Erzeugnisse aus Ton mit gefärbten Blei- oder Zinnglasuren.
s. Bauernkeramik

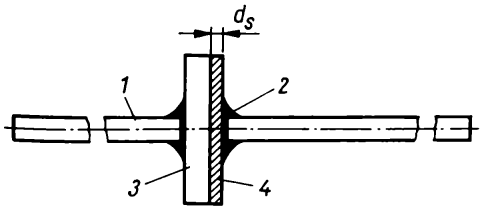
Haftfestigkeitsprüfung von Schichten – Die Messung der Haftfestigkeit von Schichten erfolgt im *Zugfestigkeitsprüfversuch*. Als Hilfsmittel dient ein Stab, der durch ein Verbindungsmedium mit der zu prüfenden Schicht verbunden und anschließend so weit belastet wird, bis es zum Herausreißen der erfaßten Fläche kommt (s. Bild). Der zur Einspannung in die Zugfestigkeitsprüfmaschine benutzte Stab muß eine höhere Zugfestigkeit aufweisen als die zu erwartende Haftfestigkeit des Prüfteils. Es gilt:

$$\sigma_Z = \frac{F}{A}$$

σ_Z Zugfestigkeit, F Kraft, A Fläche.

Die genaue Größe der Fläche muß nach dem Ausriß planimetriert werden. Zur Befestigung der Stäbe auf der Schicht hat sich Kleben mit Epoxidharz oder Weichlöten bewährt. Da das Meßergebnis von einer Vielzahl von Einflußfaktoren berührt wird, ist eine große Zahl von Messungen für repräsentative Aussagen erforderlich. [469]

Halbleiter – *Elemente oder Verbindungen, deren spezifischer Widerstand zwischen dem der Metalle und dem der Isolatoren liegt.* Sie verfügen bei einer Temperatur von 0 K über keine quasifreien Elektronen. Bei *Eigenhalbleitern* werden die Ladungsträger durch die Intrinsic- oder Eigenleitungskonzentration, die ihrerseits von der Temperatur und der Breite der verbotenen Zone bedingt ist, bereit-



Anordnung zur Messung der Haftfestigkeit des Schichtmaterials auf dem Substrat im Zugfestigkeitsversuch
1 Einspannstab *3* Substrat
2 Verbindungsmedium *4* Schicht

gestellt. Bei *Störhalbleitern* müssen die Leitungselektronen aus den chemischen Bindungszuständen erst durch Überwindung einer endlichen Aktivierungsenergie befreit werden. Die Aktivierungsenergie für Germanium beträgt z. B. 0,72 eV. Während Metalle keine Aktivierungsenergie für den Stromtransport benötigen, ist die Abgrenzung der H. gegenüber Isolatoren nicht ganz willkürfrei; so beträgt die Aktivierungsenergie für Diamant z. B. 5,3 eV. Bei Störhalbleitern unterscheidet man Überschuß- oder n-Leiter und Mangel-, Löcher- oder p-Leiter. Die Leitungsart kann durch Bestimmen des Vorzeichens von Thermokraftmessungen, des *Hall*-Effekts u. a. bestimmt werden. [377]

s. Bändermodell

Halbleiter, keramische – *nach keramischer Technologie hergestellte Werkstoffe und Erzeugnisse, die den Halbleitereffekt nutzen.* Nach ihrem Wirkmechanismus werden sie unterteilt in:

- k. H., die die physikalischen Eigenschaften des Kornes nutzen, z. B. Heißleiter* (NTC-Thermistoren), Festelektrolyte*,
- k. H., die die Eigenschaften der Korngrenzen nutzen, z. B. Kaltleiter* (PTC-Thermistoren), Sperrschichtkondensatoren*, Varistoren*,
- k. H., die Oberflächeneffekte nutzen, z. B. Feuchtesensoren*, Gassensoren* u. a.

[371, 133, 174]

Halbporzellan (Kristallporzellan) – *eine Weiterentwicklung des Feldspatsteingutes.* Von *Berdel* werden folgende Grenzwerte angegeben: 40 bis 60 % Tonsubstanz, 54 bis 32 % Quarz, 6 bis 8 % Feldspat, evtl. noch geringe Mengen (nicht über 1 %) Magnesit oder Kalkspat. Charakteristisch sind dicker Scherben, rissefreie Glasur, größte Feinkörnigkeit des Feldspats. Die Brenntemperaturen liegen bei 1 250 bis 1 300 °C.

s. Vitreous china

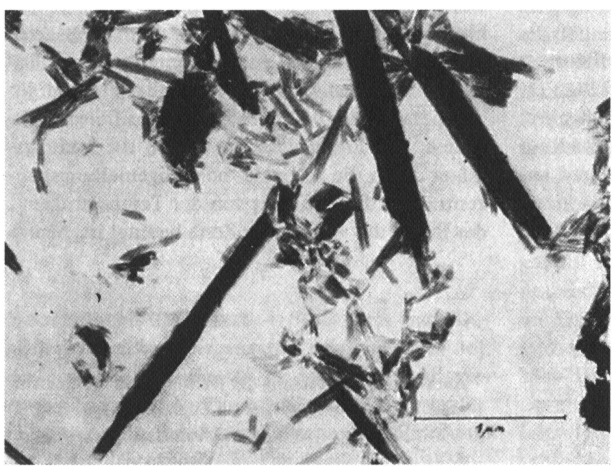
Halde – *auf einem Gelände abgelagertes Haufwerk (Schüttgut) aller Art, bei taubem Gestein als Abraumhalde bezeichnet.* Abgebaute Tone können zum besseren Aufschließen zunächst auf H. geschüttet werden; die etwa 1 m dicken Schichten werden durch atmosphärische Einflüsse (Feuchtigkeit, Frost) in ihren Eigenschaften verändert. Zur Bevorratung müssen Schamotte witterungsgeschützt, die Rohstoffe der Fein- und technischen Keramik in überdachten Lagern, Boxen, geschlossenen Räumen untergebracht werden.

In der Ziegelindustrie wird bei entsprechender Haldentechnologie eine Vergleichmäßigung der Rohstoffe erreicht. [372]

***Hall*-Effekt** – *galvanomagnetischer Effekt, bei dem in einer von elektrischem Strom durchflossenen Platte, die von einem homogenen Magnetfeld durchsetzt wird, senkrecht zum Magnetfeld und zum Strom eine Spannungsdifferenz entsteht.* Aus dem Vorzeichen und der Größe dieser Spannungsdifferenz kann u. a. auf Leitungsart, Geschwindigkeit und Konzentration der Ladungsträger bei Halbleitern geschlossen werden.

Halloysit $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}] \cdot (H_2O)_4$ (Metahalloysit $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$) – s. Bild

Chemische Zusammensetzung: 34,7 % Al_2O_3, 40,8 % SiO_2, 24,5 % H_2O (davon etwa 10 % H_2O in Molekülform). H. wird bei ≈50 °C irreversibel zu Meta-



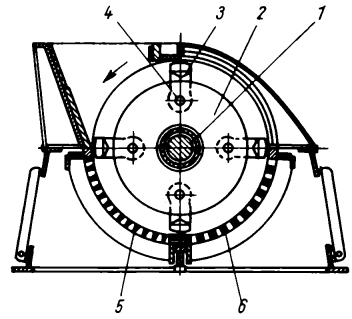
Elektronenmikroskopische Aufnahme von Halloysit

halloysit entwässert. Als Beimengungen werden gefunden:
Fe_2O_3, Cr_2O_3, Mg, Fe, Ni, Cu, Zn.
Kristallographie: monoklin; Zweischichtsilicat mit Einlagerung von H_2O zwischen den zwei Kaolinit*-Paketen; Auftreten in Form hohler Röllchen (Außendurchmesser 80 nm, Innendurchmesser 50 nm; Austauschkapazität in mval/100 g: Kationen 5 bis 20, Anionen ≈80)
Physikalische Eigenschaften: weiß; $D = 2{,}0$ bis $2{,}2\ g\ cm^{-3}$ (je nach H_2O-Gehalten; Metahalloysit $2{,}60\ g\ cm^{-3}$); $n_{mittl.} = 1{,}507$ bis 1,550
Diagnose: Unterscheidung vom Kaolinit durch H_2O-Gehalt, Entwässerungskurven und optische Daten
Genese: exogen gebildetes Mineral in der Verwitterungszone mancher Gesteine
Keramik: Auszeichnung durch hohe Trockenbruchfestigkeit.
[8]

Hämatit – *s.* Eisenoxide

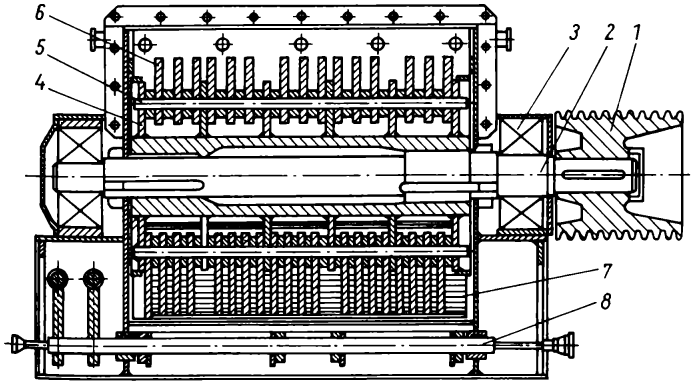
Hammerbrecher – *Maschine zur Grobzerkleinerung von mittelharten bis weichen Stoffen* (z. B. Kalk). In einem Gehäuse bewegen sich eine oder zwei maschinell angetriebene Wellen mit aufgesetzten Schlagkreuzen, die an den Enden gelenkig befestigte Schläger (Hämmer) tragen. Bei der schnellen Umdrehung (1 000 bis 400 min^{-1}) greifen sie infolge der Zentrifugalkraft durch einen Einfallsrost, zerschlagen das Material, das auch an die mit Brechleisten versehenen Prallplatten geschleudert wird, bis es durch den Rost fällt; Aufgabegut etwa <200 mm, Endkorngröße mindestens 30 mm, Durchsatz 30 bis 120 $m^3\ h^{-1}$ (s. Bild oben).

Hammermühle – *dem Hammerbrecher sehr ähnliche Maschine zur kontinuierlichen Feinzerkleinerung mittelharter bis weicher Stoffe* (Ton, Kalk, Gips u. a.). Die H. unterscheidet sich vom Hammerbrecher durch die größere Anzahl der Schläger, den fehlenden Einfallsrost, die höhere Drehzahl (4 000 bis 1 000 min^{-1}) und das feinere Aufgabe- und Austraggut bei niedrigerem Durchsatz (s. Bild unten).



Hammerbrecher mit Siebrost und Schultereinlauf, Bauart Schwermaschinenbau »Ernst Thälmann« (SKET), Magdeburg
1 Welle *2* Rotor *3* Hämmer *4* Bolzen *5, 6* Roste

Handformstein – *von Hand geformter oder mit mäßigem Druck gestampfter ff. Stein.* Die zur Handformung benutzten Massen müssen leicht verformbar sein und weisen deshalb mehr Feuchtigkeit auf als die üblichen Preßmassen. Die Massen werden unmittelbar nach dem Mischen verarbeitet oder auf Strangpressen vorgezogen. Vorgezogene Massen lassen sich leichter verarbeiten als nicht vorgezogene. Außerdem kann der Schamotteanteil höher sein, und Formfehler (Lunker, Texturen u. a.) lassen sich leichter vermeiden. Die Formung wird meist in Holzformen ausgeführt. Durch



Hammermühle (SKET Magdeburg)
1 Antriebsscheibe, *2* Antriebswelle, *3* Rotorlager, *4* Rotorgrundkörper, *5* Hammerachse, *6* Hämmer, *7* Rost, *8* Rostachse zur Spaltverstellung

Handformung werden komplizierte, maschinell nicht herstellbare Formate oder Positionen in geringer Stückzahl gefertigt. Zeitaufwand und Modellkosten sind hoch. H. haben in der Regel erhöhte Porosität, mäßige *DFB* und *KDF*.

Handmalerei – *von Hand mittels eines Malpinsels* (s. Bild) *auf keramische Waren aufgebrachte Malereien* (Rohware als Unterglasurdekoration; glasierte Ware als Aufglasurdekoration; in die ungeschmolzene Glasur entspricht Majolika*).
H. erfordert von den entsprechend ausgebildeten Arbeitskräften, den Porzellanmalern, viel handwerkliches Geschick sowie künstlerische Intuition. Soweit es sich um Einzelanfertigungen handelt, wird der Entwurf mit Bleistift vorskizziert; für immer wiederkehrende, gleichmäßige Dekorationsteile (Ornamente, Blätter, Früchte u. ä.) werden Schablonen*, Masken* benutzt. [164, 254]

Handstrich – *älteste Herstellungsweise der Ziegel.* Gut durchgekneteter Ton wird mit Wucht in eine Holzform geworfen und die überstehende Masse mit einem Eisen abgestrichen. Das Verfahren wird heute nur noch wenig angewendet.

Hängedecke – *Decke, die wegen der großen Rostbreiten in bestimmten Feuerungen nicht mehr freitragend ist, sondern mittels Halteeisen an Trägern aufgehängt wird.* Die Steine einer H. stehen im Gewölbe nicht unter Spannung und neigen daher weniger zum Abplatzen. Die Deckensteine müssen eine gute *TWB* aufweisen.

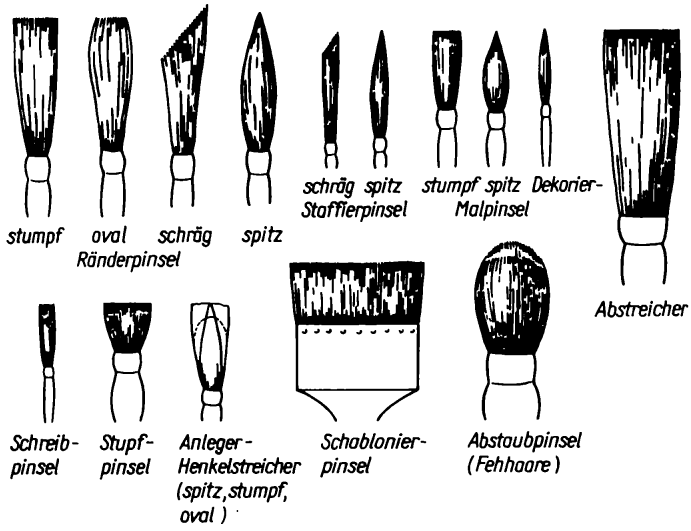
Hängeisolatoren – *an Masten u. ä. befestigte Isolierkörper zum Tragen von Leitungsseilen.* H. werden insbesondere auf Zug beansprucht. Grundsätzlich werden folgende Typen gefertigt: durchschlagbare Kappenisolatoren, nichtdurchschlagbare Vollkernisolatoren, einschließlich der zu dieser Gruppe gehörenden Langstabisolatoren.

Hangendes – *Schicht, die über einer abzubauenden Schicht lagert.* Sie ist bei ungestörter Lagerung jünger als die darunterliegende Schicht. Gegensatz: Liegendes

Harfe – *Winkelrahmen mit eingespannten und auswechselbaren Drähten zum Schneiden von Massehubeln in gleich große Massescheiben für die dosierte Aufgabe auf Formgebungsmaschinen* (Roller). Als *Gitterh.* wird sie zum Zerschneiden eines aus der Schnekkenstrangpresse austretenden Massestranges verwendet, um an ihm Geschwindigkeitsdifferenzen erkennen zu können, die Rückschlüsse auf die Qualität der Strangausformung zulassen.

Harnstoff ($H_2N—CO—NH_2$, Kohlensäurediamid) – eine farb- und geruchlose Verbindung; $D = 1{,}34\ g\ cm^{-3}$. Die wäßrige Lösung reagiert neutral. H. erhöht die Bildsamkeit* von tonigen Massen und kann auch Trockenpreßmassen zugesetzt werden.

Härte – *Oberflächeneigenschaft fester Stoffe; der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt.* Die Prüfung der H. geschieht nach verschiedenen Methoden, die jedoch



Pinselarten

voneinander abweichende Ergebnisse liefern, die sich nur im begrenzten Umfang untereinander vergleichen lassen. Ursachen sind u. a., daß einige Methoden die Prüfkörper deformieren, das Spannungsfeld der Deformation sich aber in das Innere des Körpers erstreckt und damit von den elastischen Eigenschaften des betreffenden Stoffes abhängt. Die wichtigsten Bestimmungsverfahren sind:

1) Ritzhärte nach *Mohs*

Der zu prüfende Stoff wird mit der Härte eines bekannten Minerals verglichen, dazu sind zehn Minerale in einer Härteskala angeordnet. In dieser Zusammenstellung wird das vorhergehende jeweils vom folgenden Mineral geritzt.

Härte 1: Talk Härte 2: Gips	(lassen sich mit dem Fingernagel ritzen)
Härte 3: Kalkspat Härte 4: Flußspat Härte 5: Apatit	(lassen sich mit dem Taschenmesser ritzen)
Härte 6: Orthoklas Härte 7: Quarz Härte 8: Topas	(ritzen Glas)
Härte 9: Korund Härte 10: Diamant	(schneiden Glas)

2) Schleifhärte

Der zu untersuchende Stoff wird mit einer bestimmten Menge Schleifpulver (Korund, Karborundum) so lange geschliffen, bis das Pulver unwirksam wird. Der Gewichtsverlust des Prüflings ist ein Maß für die H. (H. als Widerstand gegen Abschleifen).

3) *Rockwell*härte

Als Maßzahl für die H. gilt die Eindringtiefe eines Kegels zwischen einer Vorlast und einer Hauptlast. Der Prüfling wird mit einer Vorlast beschwert, und nach einer gewissen Zeit wird die Hauptlast als Zusatzlast aufgesetzt. Als Eindringkörper dient meist ein Diamantkegel mit 120° Spitzenwinkel und 0,2 mm Spitzenradius.

4) *Vickers*härte

Zur Bestimmung wird eine Diamantpyramide mit quadratischer Grundfläche als Eindringkörper benutzt. Der Spitzenwinkel zwischen zwei gegenüberliegenden Pyramidenflächen beträgt 136°. Unter dem Mikroskop werden dann die Eindruckdiagonalen gemessen und die Eindrucksfläche errechnet. Diese Methode gestattet, sehr geringe Härteunterschiede auf den verschiedenen Flächen des gleichen Kristalls zu registrieren. Auf Grund dieser Feinfühligkeit ist das Verfahren auch für quantitative Arbeiten geeignet. Eine bekannte Weiterentwicklung ist z. B. das Mikrohärteprüfverfahren nach *Hanemann, Bernhard* u. a. Auf der Frontlinse des Objektivs eines Mikroskops wird eine Diamantpyramide aufgebracht, so daß auch mikroskopische Präparate untersucht werden können.

Hartferrit – *s.* Ferrite

Hartlöten – *besondere Art des Lötens zur Herstellung stoffschlüssiger, vakuumdichter Verbindungen metallischer oder nichtmetallischer, aber oberflächenmetallisierter Werkstücke höherer Beanspruchung.* Als Hartlot dienen Kupfer-Silber-Legierungen. Beim H. von Korund und Metallteilen hat sich zur Metallisierung der Korundteile eine Molybdänmischung mit Mangan- und Mangan-Titanhydrid bewährt. Als Flußmittel zum H. werden Borax, Gemische von Lithium- und Berylliumchloriden bzw. -fluoriden und in einigen Fällen auch Wasserglas verwendet.

Hartmetall – *nach pulvermetallurgischen Verfahren aus Carbiden hochschmelzender Metalle und bestimmten Anteilen von Cobaltpulver u. ä. durch Pressen und Sintern gewonnener Verbundwerkstoff hoher Härte.* Als Härteträger dienen die Carbide des Wolframs, Molybdäns, Tantals, Titans, während das Cobaltpulver die Carbidkristalle verkittet und die notwendige Zähigkeit sichert. H. werden zur spanabhebenden Formgebung verwendet. (Im angelsächsischen Sprachgebrauch werden H. zu den Cermets gerechnet, da sie ein Bindemittel enthalten.)

Hartporzellan (Hochbrandporzellan) – *aluminiumsilicatischer Werkstoff mit dem klassischen Versatzaufbau von 50 Gewichtsteilen Kaolin und je 25 Gewichtsteilen Feldspat und Quarz und einer Dichtbrenntemperatur von 1 380 bis 1 460 °C;* H. ist der Werkstoff, den man gemeinhin unter Porzellan* versteht.

Die nach der traditionellen keramischen Technologie aufbereitete und geformte Masse wird bei 950 °C einem Glühbrand unterzogen, ehe sie nach dem Glasieren* im Glattbrand gesintert wird. Der gebrannte Scherben weist etwa 60 bis 70 % Glasphase auf, in die Mullit, Restquarz und Poren eingebettet sind. Diese Zusammensetzung kann in etwa durch die *Seger*formel*

$$0{,}8\,K_2O \cdot 0{,}2\,Na_2O \cdot 1{,}3\,Al_2O_3 \cdot 12\,SiO_2$$

wiedergegeben werden; nach *H. Hecht* nähern sich

damit H. und Feldspatglasuren in ihrem *WAK*, was zu einer weitgehenden Haarrissefreiheit führt. Einige Eigenschaften des H.:
Wasseraufnahme 0 %; Zugfestigkeit (unglasiert) 25 bis 35 MPa, Druckfestigkeit (unglasiert) 450 bis 600 MPa, Biegefestigkeit 45 bis 75 MPa, Schlagbiegefestigkeit (unglasiert) 1,8 bis 2,3 kN m^{-1}; *WAK* = 3,5 bis $5{,}0 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$; Weißgrad (unglasiert) >70 %; Transparenz bei d = 1 mm 5 %; *TWB* > 170 K; *DK* = 5,5...6; Verlustfaktor (50 Hz, 20 °C) 16 bis $25 \cdot 10^{-3}$; elektrische Durchschlagfestigkeit (50 Hz) 25 bis 35 kV mm^{-1}.
Entsprechend den Zielsetzungen für die verschiedenen Verwendungen von H. wurden die Versätze und Technologien modifiziert, so daß heute außer den bereits genannten Rohstoffen noch Tone* (für technisches Porzellan), Tonerde*, Mullit*, Fritte* (z.B. Ba-Fritte für alkalifreies Porzellan), Flußmittelkombinationen, Mineralisatoren* u. a. eingeführt werden. Man kennt damit noch Mittelbrandporzellane (z. B. Weichporzellane*, Frittenporzellan*, Parian*, Halbporzellan*, Vitreous China*, Knochenporzellan* u. a.) und Sonderporzellane (z. B. Elektroporzellane*, chemisch-technisches Porzellan, mechanisch-hochfestes Porzellan, z. B. KER 118 u. a.). [110, 185, 254]

Hartschamottesteine – *trocken gepreßte Schamottesteine aus hart (schwindungsfrei) vorgebrannter Schamotte* (≈1 410 °C) *unter Zusatz von Tonschlicker oder relativ wenig Ton, mit hohen Drükken geformte Steine.* Um den Feuchtegehalt der Masse unter 5 % zu halten, besteht z.B. eine Möglichkeit darin, den Gießschlicker mit Schamottefeinmehl zu versetzen und unter die gröbere Schamottekörnung zu mischen.
H. schwinden beim Trocknen und Brennen wenig oder nicht und zeichnen sich durch niedrige Porosität, hohe *KDF* und *DFB* und gute *TWB* aus.

Hartsteingut – *s.* Steingut

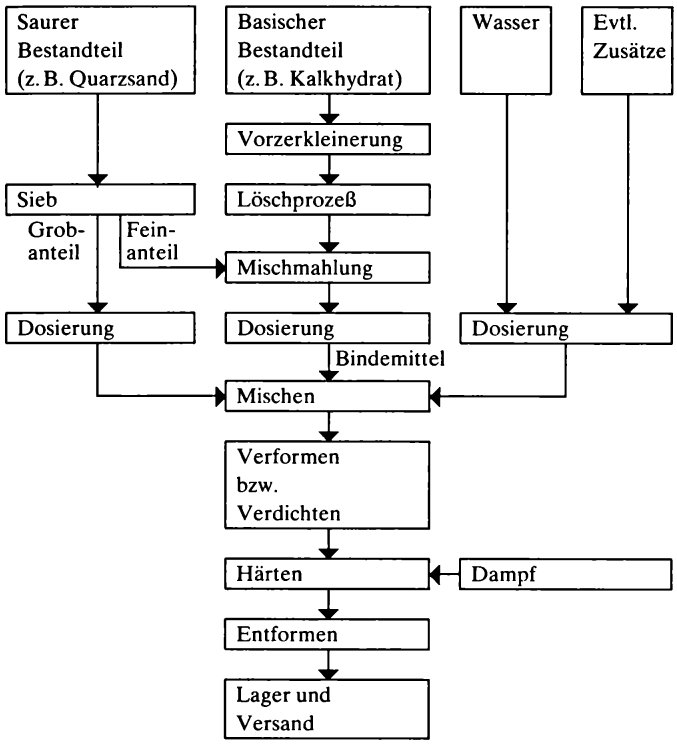
Hartstoffe – *zusammenfassender Begriff für Stoffe, die eine Härte nach Mohs von 7 und höher aufweisen.* Im weiteren Sinne zählen dazu die Minerale mit der geforderten Härte, Hartmetalle u. a., im engeren Sinne nur Carbide, Silicide, Boride, d.h. Stoffe mit halbmetallischen Eigenschaften.

Härtung, hydrothermale – *Neubildung wasserhaltiger Phasen aus geeigneten Oxiden bzw. Hydroxiden in feuchter Atmosphäre bei erhöhten Temperaturen und äquivalenten Sattdampfdrücken.*
Der sog. hydrothermale Prozeß ist gekennzeichnet durch chemische und physikalische Vorgänge, die an festen und fluiden Medien unter feuchtwarmen Bedingungen ablaufen. Unter Beachtung der hydrothermalen Eigenschaften des Wassers ist es üblich, seinen hydrothermalen Zustand in einen unterkritischen und einen überkritischen Bereich zu unterteilen, wobei der kritische Punkt durch die Temperatur 374,15 °C, einen Dampfdruck von 22,12 MPa und eine Dichte von 0,315 g cm^{-3} festgelegt ist. Im kritischen Punkt sind Dichte des Wassers und des Dampfes gleich, so daß im überkritischen Bereich nur noch fluide Phase vorhanden ist.
Der hydrothermale Prozeß wird in verschiedenen Industriezweigen genutzt (Hydrothermalsynthese*, Hydritverfahren* u. a.), unabhängig von technologischen Details steht dabei der Autoklav im Mittelpunkt der jeweiligen Fertigung. Innerhalb der feuerfesten und grobkeramischen Werkstofferzeugung wird die h. H. gegenwärtig insbesondere für die Stoffsysteme Calciumsilicate (gleichsam für saure Erzeugnisse) und Calciumaluminate für hochtonerdehaltige Materialien herangezogen (s. dazu nebenstehendes Bild). Als besondere Vorzüge dieser Technologie werden folgende Aspekte genannt:
- breite Rohstoffpalette, die auch solche Sekundärmaterialien umfaßt, die nicht für zementgebundene Baustoffe nutzbar sind,
- verminderter Bindereinsatz (in kg m^{-3}) gegenüber Zementbeton gleicher Festigkeitsklasse,
- Erhärtung ohne Zement,
- geringer Energieaufwand (etwa 200 bis 1 000 kJ/kg Beton).

[386]

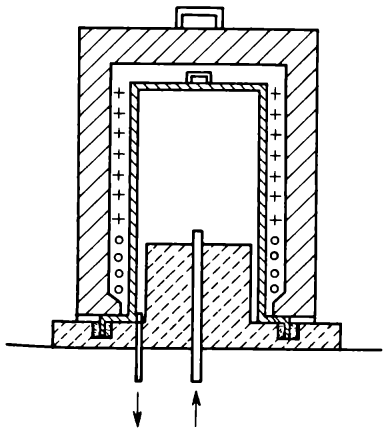
Hartzerkleinerung – Zerkleinerung von Hartmaterialien (z. B. Felsquarzit) durch Druck-, Scher-, Spaltwirkung mit Hilfe von Backenbrecher*, Symonsbrecher* (Symonsgranulator), Kollergang*, Federrollenmühle* u. a., auch Walzen-, Pendelschwingbrecher u. a., im Gegensatz zur Zerkleinerung bildsamer Stoffe, die meist quetschend oder schneidend erfolgt (s. a. Tonhobel, Tonraspler*). Die Grobzerkleinerung geht bis etwa 100 mm obere Korngröße, die mittlere bis etwa 10 mm und die Feinzerkleinerung unter 10 mm Korngröße.

Haubenofen – *periodisch arbeitender Ofen, dessen Oberteil (Haube) transportabel ist* (s. Bild). Das zu brennende Gut wird auf die feststehende



Verallgemeinerter technologischer Ablauf für hydrothermalgehärtete Materialien nach *Seifert* und *Schlegel*

Standfläche aufgebaut. Mit Hilfe einer Heb- und Senkvorrichtung wird die mit der Heizeinrichtung (Strom, Leichtöl oder Gas) versehene Haube auf das Unterteil aufgesetzt. Während des Brennens kann ein zweiter Untersatz für den nächsten Brand vorbereitet werden. H. werden zum Brennen von keramisch gebundenen Schleifscheiben, Elektroporzellan, Hochfeuerfestmaterial, Sanitärkeramik u. a. verwendet.



Haubenofen

Hauptsätze der Thermodynamik

Nullter Hauptsatz: Steht jedes von zwei Systemen mit einem dritten im thermischen Gleichgewicht, dann stehen auch die beiden Systeme miteinander im thermischen Gleichgewicht.

1. Hauptsatz: Die Änderung der inneren Energie ΔU eines abgeschlossenen Systems ist gleich der Summe der vom System mit der Umgebung ausgetauschten Wärme und der ausgetauschten Arbeit.

$$W + Q = U_{II} - U_I = \Delta U$$

U_I innere Energie im Ausgangszustand
U_{II} innere Energie im Endzustand

Die Summe von Exergie und Anergie ist am Anfang und Ende jedes Prozesses gleich groß.

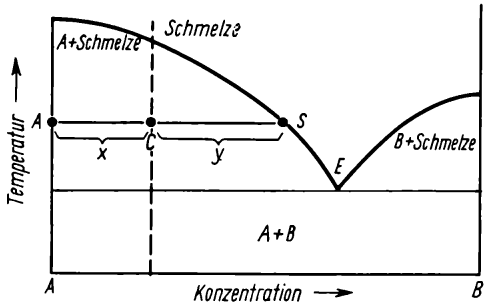
2. Hauptsatz: Geht eine Wärmemenge Q_T von einer höheren Temperatur $T + \Delta T$ zu einer niederen Temperatur T über, so kann stets nur ein Teil der gesamten Wärmemenge in mechanische Arbeit umgewandelt werden, d. h.,

- bei reversiblen Prozessen bleiben Energie und Anergie konstant, und
- bei allen natürlichen Prozessen verwandelt sich stets Exergie in Anergie, daher kann die Exergie nie größer, sondern muß immer kleiner werden, die Anergie kann nie kleiner, sondern muß immer größer werden.

[56]

Haushalts- und Hotelporzellan – Gruppenbezeichnung für industriell hergestelltes Geschirr für die tägliche Nutzung im Haushalt und Gaststättenwesen.

Hebelregel – *eine an das mechanische Hebelgesetz angelehnte Regel, mit deren Hilfe in binären Systemen die Phasenanteile an bestimmten Punkten des Systems berechnet werden können.* Es gilt (s. Bild):



Anwendung der Hebelregel im Zweistoffsystem

$$\frac{\text{Menge der ausgeschiedenen Kristalle } A}{\text{Menge der Restschmelze } S} = \frac{y}{x},$$

d. h., im Gleichgewicht sind die Mengen der Phasen umgekehrt proportional ihren Konodenabschnitten x und y. Für ternäre Systeme gilt die H. in etwas veränderter Form.

Hectorit – *s.* Montmorillonitgruppe

***Hedvall*-Effekt** – *von dem schwedischen Physiko-Chemiker Hedvall zuerst beobachtete Erscheinung, wonach Festkörperreaktionen schneller verlaufen, wenn die am Prozeß beteiligten Partner Phasenumwandlungen durchmachen.* Phasenumwandlungen bedingen Umorientierungen der Gitterbausteine, was gleichzeitig eine erhöhte Reaktionsbereitschaft bedeutet.

Heiligenschein – *sichtbare Verfärbung in zwei verschiedenen Tönungen am gleichen gebrannten Stück,* beispielsweise eine gelbliche Tönung (oxydierendes Brennen) um eine andersfarbige, z. B. bläulichstichige Fläche (reduzierendes Brennen). Eine solche Zweifarbigkeit kann auf eine partielle Oxydation an Stellen ohne Glasur, wenn der Scherben noch nicht dicht ist, zurückgeführt werden.

Heißaufbereitung – *eine Form der Aufbereitung toniger Massen, bei der zum besseren Aufschließen der kleinsten Teilchen, vor allem der Tonminerale, Heißdampf in die Mischaggregate eingeblasen wird.* Durch Heißdampf werden die Oberflächenspannung und die Viskosität des Wassers herabgesetzt. Heißdampfaufbereitete Massen benötigen weniger Anmachwasser, zeigen höhere Bildsamkeit und Rohbruchfestigkeit und haben wesentlich kürzere Trockenzeiten als ohne Heißdampf behandelte Massen. Tone und Lehme mit hoher Grubenfeuchtigkeit eignen sich nicht ohne weiteres für die H., da hier ein Schmiereffekt auftreten würde. H. wird vorwiegend in der Ziegelindustrie angewendet.

Heißbiegefestigkeitsprüfungen – *s.* Druckfeuerbeständigkeit *(DFB)*, Druckdauerstandfestigkeit

Heißdruckfestigkeit – *in der Hitze bestimmte Druckfestigkeit.* Zur Bestimmung der H. wird aus dem zu untersuchenden Material eine zylindrische Probe herausgebohrt, auf eine bestimmte Temperatur gebracht und bis zum Bruch belastet. Die Prüftemperatur wird während des Versuches konstant gehalten. Durch eine Prüfreihe von etwa 50 bis 100 °C auseinanderliegender Temperaturen erhält man ein Bild über die Temperaturabhängigkeit der H. Die meisten Stoffe zeigen ein deutliches Maximum der Festigkeit, das von Schamottesteinen liegt z. B. bei ≈1 000 °C.

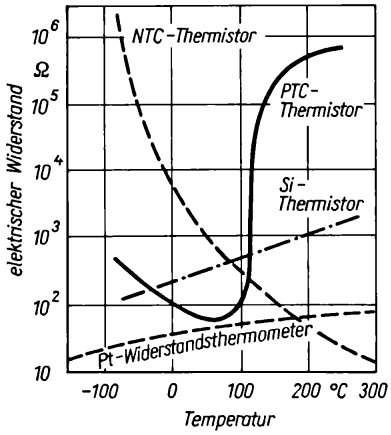
Heißgießen – *s.* Spritzgießen

Heißleiter (NTC-Thermistoren) – *nach keramischer Technologie hergestellter Halbleiterwiderstand mit hohem negativem Temperaturkoeffizient.* H. werden aus verschiedenen Mischoxiden hergestellt; durch Variation der Stoffzusammensetzung und der Abmessung können Widerstandswerte zwischen 10^0 und $10^6\,\Omega$ mit einem Temperaturkoeffizienten von -2 bis $-6{,}5\,\%\,K^{-1}$ erreicht und ein Betriebstemperaturbereich von 75 bis 1 275 °C erfaßt werden (s. Bild S. 209).

Für H. gilt annähernd die Beziehung:

$$R = a \exp b/T$$

R Widerstand der H. bei der Temperatur T
a Mengenkonstante, abhängig von Werkstoff und Geometrie des Widerstandes (in Ω)
T absolute Temperatur (in K)
b Energiekonstante (bei technischen H. bewegen sich die Werte von 800 bis 5 000 K).



Widerstands-Temperatur-Charakteristik verschiedener Temperaturfühler

Die 1. Generation der H. (30er Jahre) basierte auf den Oxiden UO_2, CuO u. a.; da es sich im wesentlichen um Ionenleiter handelte, waren sie relativ instabil und mußten hermetisch abgeschlossen werden. Die 2. Generation der H. (Anfang 40er Jahre) basierte auf dotierten Wirtsgittern (Spinelle*) bzw. Mischkristallen von Fe_3O_4, Co_2O_3, Mn_2O, $MgCrO_4$, $ZnCrO_4$ und $ZnTiO_4$, die als Elektronenleiter eine hohe Stabilität aufweisen und heute noch produziert werden.

Die 3. Generation der H. (seit den 70er Jahren) ist durch eine definierte Widerstands-Temperatur-Charakteristik ausgezeichnet, die eine Austauschbarkeit bis auf 0,1 K sichert.

H. werden in Scheiben-, Stäbchen- und Perlform produziert und in Anlaß- und Verzögerungsschaltungen, für Temperaturmeß-, -regel-, -überwachungs- und Kompensationszwecke sowie für Pegelstands- und Strömungsmessungen eingesetzt. [371]

s. Ferrite mit Spinellstruktur

Heißlufttrockner – *Trockentrommeln, in denen Tonschnitzel von etwa 700 bis 800 °C heißen Gasen im Gleichstrom überstrichen und bis auf eine Restfeuchte von etwa 7 bis 8 % getrocknet werden.* Die Temperatur des trocknenden Tons liegt bei 60 °C, die der Abgase muß mindestens 100 °C betragen, um Kondenswasserbildung zu vermeiden.

Heißpressen – *eine Sonderform des Pressens, bei der der Preßling in der beheizbaren Preßform unter Druck gesintert wird.* Als Formenmaterial kommen bis 1 000 °C Ni-Mo-Legierungen, für höhere Temperaturen TiB_2, Graphit u. a. in Betracht. Die Beheizung erfolgt elektrisch, indem der Strom durch ein leitendes Pulver oder durch die Preßform geleitet wird, oder indirekt mittels Ofens. Durch H. lassen sich nahezu porenfreie Werkstoffe herstellen, die die theoretische Dichte fast erreichen. Heißgepreßt werden Oxide, Metallpulver, Carbide u. a.

Heißpressen, isostatisches (HIP) – *Verfahren zum Verdichten von geformten oder pulverförmigen Teilchen unter hohem allseitigem Druck und hoher Temperatur.* Prinzipiell wird unterschieden:

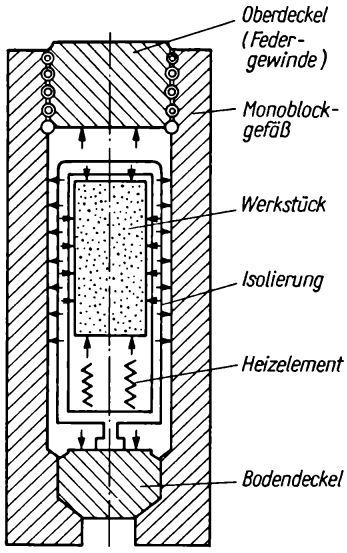
- Das Pulver bzw. vorverdichtete Material wird evakuiert, mit einer vakuumdichten Hülle (Glas oder Metall) gekapselt und in den Ofen gegeben. Zur Pulverkonsolidierung werden Temperaturen bis etwa 1 260 °C und Drücke bis 200 MPa angewandt. Nach Beendigung des HIP (hot isostatic pressing)-Prozesses werden die Kapseln chemisch abgelöst oder zertrümmert.
- Das heißisostatische Nachverdichten, bei dem vorgesintertes dichtes Material ohne Verkapselung bis zur theoretischen Dichte nachverdichtet wird, ist das zweite Verfahren. Diese Methode wird insbesondere bei der Beseitigung der Mikro- und Makroporosität in gesinterten Hartstoffen herangezogen. Das Pulver wird gewöhnlich kalt in einer Preßmatrize oder Kaltisostatikpresse verdichtet, gesintert und anschließend zur Porenbeseitigung isostatisch heißgepreßt.

Das i. H. wird auch zum Verbinden artgleicher oder unterschiedlicher Werkstoffe (glass-pressure-bonding) eingesetzt, wobei die Preßtemperaturen z. T. wesentlich unter den normalen Sintertemperaturen liegen. Das Werkstück wird dazu in einen Ofen, der sich innerhalb des Druckgefäßes befindet, eingesetzt (s. Bild S. 210).

Während des Aufheizens bis zum Erweichungszustand wird es allseitigem Druck durch ein Gas (Argon, Helium) ausgesetzt; Drücke, Temperaturen und Haltezeiten hängen von den zu verpressenden Materialien ab, wobei meist enge Toleranzen gesetzt sind. Allgemein ist der HIP-Prozeß geeignet, die Festigkeitseigenschaften und die Lebensdauer eines Werkstückes erheblich zu verbessern. [334]

s. Pressen, isostatisches

Heißspritzen (Druckgießen) – *Formgebungsverfahren, das besonders bei von Natur aus unbildsamen Massen (z. B. Korund) angewendet wird.*



Heißisostatische Presse

Die Masse wird mit thermoplastischen Stoffen (Paraffine, Wachse u. a.) unter Zusatz von oberflächenaktiven Stoffen (z. B. Olein) teigig gemacht und unter Erwärmung und Anwendung von mäßigen Drücken in speziellen Spritzautomaten verformt. Aus den Formstücken werden die Hilfsmittel vor dem Sintern in sog. *Austreiböfen* durch langsames Erhitzen auf 150 bis 250 °C wieder entfernt. Heißgespritzte Artikel zeichnen sich durch besondere Oberflächengüte aus.

Heißstrangformung, elektrische – *modifizierte Vakuumstrangformgebung;* dazu ist in die Vakuumkammer anstelle von Sieb- oder Lochplatten ein thyristorgesteuertes Erwärmungssystem in Form zweier plattenförmiger Elektroden eingebaut. Die Erwärmung erfolgt durch Widerstandsheizung, d. h., die erreichbaren Temperaturen (etwa 30 bis 70 °C) sind abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit der Masse und der angelegten Spannung. Das Verfahren ist besonders für grobkeramische Massen geeignet und weist folgende Vorteile auf:

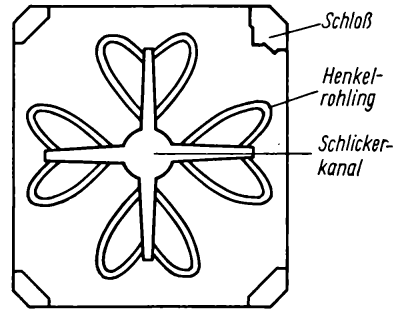
- Herabsetzung des Anmachwasserbedarfs (etwa 100 g Wasser weniger je NF als bei der traditionellen Strangformgebung),
- Verkürzung der Trockenzeit und Verbesserung der Frostwiderstandsfähigkeit,
- Minderung der Formgebungstexturen.

(WP B 28 B/ 201 844 und WP B 28 B/ 207 227)

Heizleiter – *Metalle, Legierungen, mineralische Stoffe, Verbindungen, die in Form von Drähten oder Stäben zur Widerstandsheizung verwendet werden.* H. müssen eine hohe Festigkeit gegen Verzunderung bei höheren Temperaturen und einen geeigneten spezifischen elektrischen Widerstand besitzen. Es stehen u. a. zur Verfügung:
Cr—Fe—Si-Legierungen bis 1 050 °C, Cr—Ni-Legierung bis 1 150 °C; Kanthal (67,5 Fe, 25,0 Cr, 5,5 Al, 2,0 Co) bis 1 300 °C, Cr—Al—Ti-Legierung bis 1 350 °C, SiC-Stäbe bis 1 400 °C, Molybdändisilicid $MoSi_2$ bis 1 700 °C – höchste Temperatur, die in oxydierender Atmosphäre von elektrischem Strom erzeugt werden kann –, Kohlegrießöfen (CO-haltige Atmosphäre) bis 1 800 °C, Kohlerohröfen (CO-Atmosphäre) bis 2 500 °C. H. aus Molybdän und Wolfram erlauben im Vakuum bzw. in Wasserstoffatmosphäre Temperaturen bis 2 500 °C bzw. etwa 3 000 °C. Infolge Alterung erhöht sich im allg. der elektrische Widerstand der H. im Laufe der Zeit, deshalb muß die elektrische Versorgung über Regeltrafo erfolgen.

***Helmholtz*sche Doppelschicht** – *s.* Doppelschicht, elektrische

Henkeln – *Fertigen und Ansetzen von Henkeln.* In der Töpferei wird dazu der Ton zu einer dünnen Rolle geformt, die in Stückchen geteilt wird. Diese werden mit Wasser fest an den Rand eines Gefäßes angeklebt, verlängert, gebogen und angedrückt. In der Feinkeramik werden die Henkel in Gießformen hergestellt und angarniert (s. Bild).



Unterteil einer Henkelgießform

Herd (Herdsohle) – *der Boden von statischen metallurgischen Öfen, der Fußboden von Kammern in keramischen Öfen, auf den das Brenngut gebaut wird.* Bei periodischen Öfen mit überschlagender Flamme enthält die Sohle die Abzugsöffnungen für die Rauchgase.

Herdraumdruck – *Druckunterschied zwischen dem Brennraum/Brennkanal (bei Tunnelöfen) und der Außenatmosphäre.* Der H. beträgt im allg. einige mm WS (Wassersäule).

Herdwagen – Transportmittel für den diskontinuierlichen Ofenbetrieb (Herdwagenofen), das auf seinem Plateau das aufgebaute Brenngut trägt. Nicht ganz korrekt wird diese Bezeichnung auch für Tunnelofenwagen gebraucht. Diese haben neben der Aufnahme des Brenngutes die Aufgabe, gleichzeitig auch den Ofen nach unten zum Begehungskanal abzudichten (s. Bild unten).

Heßscher Wärmesatz – *von H. Heß (1803 bis 1850) aufgestelltes Gesetz, das besagt, daß die Gesamtreaktionswärme einer Folge von Reaktionen von einem definierten Ausgangszustand in einen definierten Endzustand gleich ist derjenigen einer beliebigen anderen Reaktionsfolge, d. h., die Wärmemengen, die bei einer bestimmten Reaktion aufgenommen oder abgegeben werden, sind unabhängig vom Weg.* Der H. ist eine unmittelbare Folge des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre. Da auf dem Gebiet der Silicatkunde die Schmelz-, Reaktions- oder Bildungswärmen meist nur mit erheblichem apparativem Aufwand bestimmt werden können, bietet der H. die Möglichkeit, die gesuchten Wärmemengen indirekt zu bestimmen. Er setzt jedoch eine eindeutige Schreibweise der thermochemischen Gleichungen voraus.

Heteromorphie (griech.: heteros = fremd, morphe = Gestalt) – *die Erscheinung, daß zwei Verbindungen mit verschiedenem Gittertyp Mischkristalle bilden, wobei eine Verbindung der anderen ihre Kristallstruktur aufzwingt.* Voraussetzung ist jedoch, daß beide Verbindungen vom gleichen Formeltyp sind und weitgehend gleiche Gitterabstände aufweisen.

Hintermauerung – *Bezeichnung für das Kernmauerwerk bei Verblendung* und für das Mauerwerk, mit dem bei Bögen und Gewölben die Zwickel am Kämpfer bis zu einem Drittel der Gewölbehöhe ausgefüllt werden.

Hitzewellen – *bei der bildsamen Formgebung möglicher Fehler auf Flachgeschirrunterseiten,* der auf eine zu hoch eingestellte Schablonenbeheizung oder auch auf defekte Regelung zurückzuführen ist.

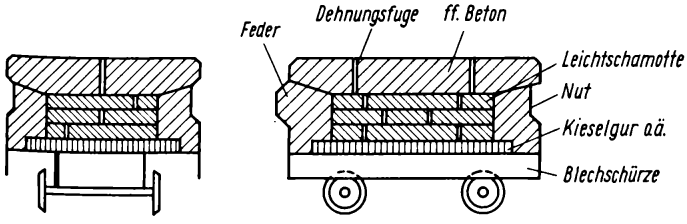
Hochfrequenztrocknung – *Trocknungsverfahren, bei dem die zum Verdunsten des Wassers erforderliche Wärme durch ein elektrisches Wechselfeld im Innern des Rohlings erzeugt wird.* Der Rohling befindet sich dabei zwischen den Platten eines Kondensators. H. zeichnet sich durch raschen und gleichmäßigen Trocknungsverlauf aus. Wegen der hohen Anlagekosten und des mäßigen Wirkungsgrades des HF-Senders ist H. nur bei hochwertigen Stücken vertretbar.

Hochgeschwindigkeitsbrenner – *Brennersysteme, die mit Strahlgeschwindigkeiten von 100 bis 150 m s^{-1} arbeiten und damit einen intensiven Umwälzeffekt erzeugen.* Je nach Verwendungszweck werden zwei Grundtypen unterschieden:

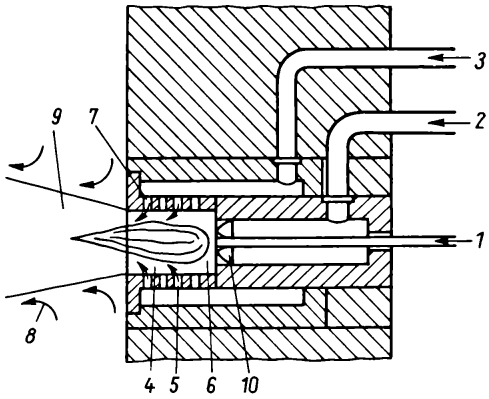
- Dreiphasenbrenner (Gas – Primärluft – Sekundärluft, s. Bild S. 212),
- Zweiphasenbrenner (Gas – Verbrennungsluft).

Dreiphasenbrenner werden bevorzugt eingesetzt, wenn ein großer Regelbereich abzufahren ist, wobei im unteren Regelbereich mit hohem Luftüberschuß gearbeitet wird. Häufig wird jedoch eine Vermischung von Gas und Verbrennungsluft außerhalb des Brenners vorgenommen, so daß letztlich doch im Zweiphasensystem gearbeitet wird. Als Nachteil der H. müssen der hohe Förderaufwand und der hohe Geräuschpegel der Hochdrucklüfter angesehen werden. [143, 158]

Hochgeschwindigkeitsverformung – *eine meist in Form des Explosivpressens durchgeführte Formgebung unbildsamer Pulver.* Die in dünne metallische Formen eingeschweißten Pulver werden kurzzeitig (ms-Bereich) in Wasserbehältern einer



Herdwagen



Hochgeschwindigkeitsbrenner (Dreiphasenbrenner)

1 Brenngas
2 Verbrennungsluft
3 Sekundärluft
4 Brennkammer
5 Einsatzstein
6 Flamme
7 Bohrungen für Sekundärluftzufuhr
8 Zuströmungen von Umgebungsgasen
9 Brennerstrahl
10 Drallkörper

Detonation ausgesetzt. Die Formlinge weisen bereits im grünen Zustand eine hohe mechanische Festigkeit auf. Wegen der hohen Fehlstellenkonzentration können durch H. hergestellte Formlinge bei relativ tiefen Temperaturen gesintert werden. Die technischen Parameter der Sinterprodukte sind im allg. ausgezeichnet.

Hochspannungsisolatoren – *Konstruktionen aus keramischen Isolierkörpern und den mit ihnen fest verbundenen Armaturen, die eine galvanische Trennung von leitfähigen Teilen mit elektrischen Spannungen > 1 kV untereinander und/oder von Erde unter allen atmosphärischen Bedingungen aufrechterhalten.* Außer auf Isolationsfestigkeit werden H. erheblichen mechanischen, korrosiven, abrasiven und thermischen Belastungen ausgesetzt.

Es ist üblich, Spannungen <1 kV als Niederspannung und >1 kV als Hochspannung zu bezeichnen. Unter dem Aspekt der elektrischen Übertragungsnetze werden jedoch – nicht ganz einheitlich – Spannungen bis etwa 60 kV als Mittelspannungen, von 60 bis etwa 1 200 kV als Höchstspannungen und über 1 200 kV als Ultrahochspannungen ausgewiesen. H. können nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert werden, nach den Nennspannungen, den Einsatzarten, den technologischen Herstellungsvarianten oder der Ausbildung des elektrischen Feldes in (s. Bild 1).

1) Isolatoren, die stehend oder hängend Hochspannung gegen Erdpotential absichern, z. B. Langstäbe*, Stützer* u. a.,

2) Isolatoren, die von den spannungsführenden Teilen durchdrungen werden, z. B. Durchführungen,

3) Isolatoren, die nicht unmittelbar der elektrischen Isolierung dienen, sondern Öl- oder gasgefüllt den äußeren Schutz von aktiven Teilen übernehmen, die sog. Apparateisolatoren und Überwürfe* (z. B. Ventilableiter*).

In Abhängigkeit von der Geometrie der H. sind Mittelstellungen zwischen diesen Gruppen möglich, z. B. Kappenisolatoren* zwischen den Gruppen *1*) und *2*). Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist durchschlagbar/nichtdurchschlagbar (s. Bild 2). [14, 162, 185, 189]

Hochratezerstäubung – *s.* Plasmazerstäubung

Höchster Porzellanmanufaktur – 1746 von *Göltz* und *Clarus* gegründet, stellte sie 1796 die Produktion wieder ein. Anfänglich wurde Fayence erzeugt, später reich dekoriertes Geschirrporzellan. Unter *Melchior* (1767 bis 1779) wurden u. a.

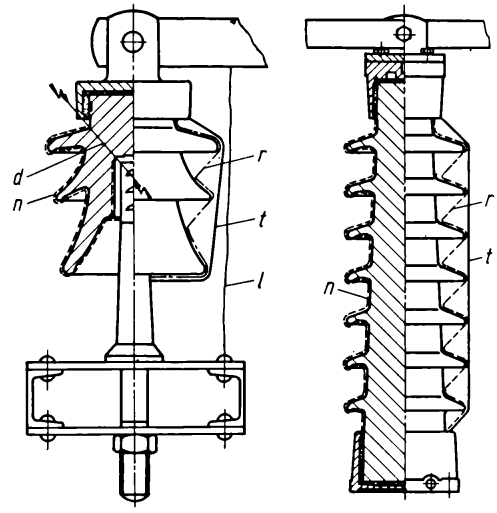


Bild 1. Überschlag- und Durchschlagwege an einem Mastschalter-Stützisolator bzw. Tragisolator (Stützer)

l Luftdurchschlagweg
r Regenüberschlagweg
d Durchschlagweg
t Trockenüberschlagweg
n Überschlagweg bei Verschmutzung und Nebel oder Tau (Kriechweg)

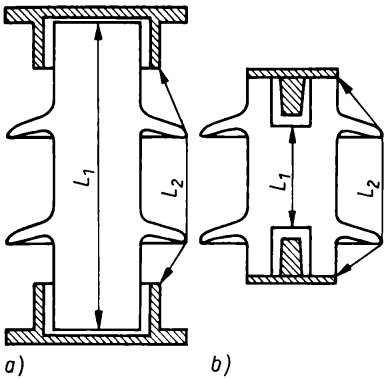


Bild 2. *a*) Prinzip des nicht durchschlagbaren Isolators (Verhältnis $L_2/L_1 < 2$)
b) Prinzip des durchschlagbaren Isolators (Verhältnis $L_2/L_1 > 2$)
L_1 Stromweg durch den Isolator
L_2 Fadenweg; Weg des Stromes durch die Luft, z. B. Brennen eines Lichtbogens

antik wirkende Statuetten, allegorische Gruppen, Porträts hergestellt. Marke: Rad mit sechs Speichen, oft in Verbindung mit Kurhut (s. Bild).

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Höchst

Höchst 1746

Hochtemperatur-Schmelzfarbe – *Aufglasurfarbe für den Einbrennbereich von 1 000 bis 1 100 °C.* Die angebotenen Farben sind, mit Ausnahme von Pinkrosa, beliebig untereinander mischbar. Sie werden als Pulver oder Pasten verwendet.

s. Farben, keramische

Hochtemperatur-Schnellbrandfarbe – *s.* Inglasurfarbe

Hochtemperatur-Supraleiter, keramische – *Werkstoffe der allgemeinen Zusammensetzung $A_1Ba_2Cu_3O_{6+x}$ mit einer Sprungtemperatur von etwa 100 K;* A steht dabei für Yttrium bzw. andere Lanthanide (La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd u. a.); für x gilt $0{,}5 \leqq x \leqq 1{,}5$.

$A_1Ba_2Cu_3O_6$ kristallisiert im Perowskitgitter*-Typ und weist Halbleitereigenschaften auf. Erst durch Aufoxydationen (Tempern des Werkstoffes im O_2-Strom u. a.) stellt sich die Supraleitung ein. Strukturell bildet sich durch die Aufoxydation eine raumzentrierte tetragonale Elementarzelle aus (s. Translationsgitter). In der Mitte und an den acht Ecken der Elementarzelle befinden sich Cu-Atome, die jeweils von sechs Sauerstoffatomen umgeben sind. Diese CuO_6-Oktaeder sind gedehnt (s. Bild 1), d. h., der Abstand zwischen dem Cu-

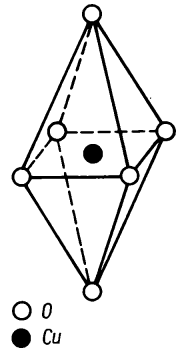


Bild 1. CuO_6-Oktaeder; der Abstand zwischen dem Cu-Atom und den vier O-Atomen in der Basisebene des Oktaeders ist kleiner als zu den beiden sich außerhalb dieser Ebene befindlichen O-Atomen (langgestrecktes Oktaeder)

Atom und den vier O-Atomen in der gleichen horizontalen Ebene ist viel kleiner als der Abstand zwischen dem Cu-Atom und den beiden O-Atomen senkrecht über bzw. unter dieser Ebene (entspricht der Koordination einer raumzentrierten tetragonalen Bipyramide). Außer den neun CuO_6-Oktaedern befinden sich in der Elementarzelle noch die A- und Ba-Atome; die entsprechenden Gitterplätze können sowohl von den A-Atomen als auch von den Ba-Atomen eingenommen werden (substitutionelle Unordnung); sie sind durch die Konzentration der beiden Atomsorten festgelegt (s. Bild 2). Obwohl die Entwicklungen

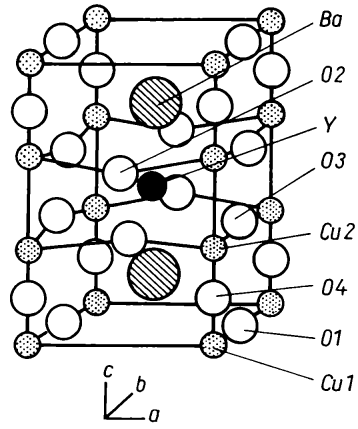


Bild 2. Elementarzelle des $YBa_2Cu_3O_7$, nach [569]

noch im Fluß sind, ist sicher, daß für die Ausbildung der Supraleitung der Metalloxide die Cu- und O-Atome in der Basisebene der CuO_6-Oktaeder eine Schlüsselrolle spielen.

Die Gewinnung von supraleitenden Keramiken kann nach der Technologie der Mischfällungen* und/oder nach der traditionellen keramischen Pulvertechnologie erfolgen; letztere ist vor allem zur Herstellung massiver keramischer Elemente, z. B. für Sputtertargets, geeignet. Für die meisten Anwendungen ist ein dichtes Gefüge unabdingbare Voraussetzung. Entscheidenden Einfluß hat darauf der Vorbildungsprozeß; im Falle der Ausgangsrohstoffe Y_2O_3-CuO-$BaCO_3$ steht nur ein relativ kleines Temperaturintervall im Bereich 925 bis 1 000 °C zur Verfügung. Bei Temperaturen unter 925 °C wird $BaCO_3$ nicht zersetzt; bei Temperaturen oberhalb 1 000 °C bilden sich Schmelzphasen, die die Gefügezusammensetzung inhomogen verändern und zugleich die Sinteraktivität des Pulvers mindern.

Den keramischen H. S. erschließt sich ein breites Anwendungsfeld, wie Magnete mit supraleitenden Spulen (MHD-Generatoren, magnetische Lagerungen u. a.), Schalt- und Speicherelemente, in der Energieübertragung, Präzisionsmeßtechnik u. a. [565, 567 bis 569]

Hochtemperaturwerkstoffe – *zusammenfassende Bezeichnung für Werkstoffe, die ständig bei höheren Temperaturen beansprucht werden können.* Die Höhe der Temperatur ist nicht festgelegt, sie wird vom Werkstoff aus betrachtet. So zählen einige Autoren zunderfreie Fe-Legierungen mit Arbeitstemperaturen von etwa 1 000 °C bereits zu den H. Im weiteren Sinne gehören in diese Gruppe:

- Molybdän ($T_S = 2\,622$ °C) und Wolfram ($T_S \approx 3\,400$ °C); beide können jedoch nur im Hochvakuum oder im Schutzgas beansprucht werden (z. B. H_2),
- eine Anzahl Oxide, z. B. Al_2O_3 ($T_S = 2\,050$ °C), BeO ($T_S \approx 2\,570$ °C),
- Carbide, z. B. Be_2C (zersetzt sich oberhalb 2 100 °C), SiC ($T_S \approx 2\,700$ °C), kann jedoch an der Luft nur bis etwa 1 450 °C belastet werden,
- Nitride, Boride u. a.

s. Konstruktionswerkstoffe, Feuerfesterzeugnisse

Hofmeister-Reihe (lyotrope Reihe) – *von Hofmeister festgestellte Reihenfolge der Kationen und Anionen hinsichtlich ihres Vermögens, sich in lyophilen Solen/Suspensionen auszutauschen.* Bei Suspensionen von Schichtsilicaten* bewirkt der Ionenaustausch*, besonders der Kationen, meßbare (z. B. Zeta-Potential*, elektrische Doppelschicht*) und technologisch wichtige (Verflüssigung*, Bildsamkeit*) Veränderungen. Bei Kationen läßt sich das rechts stehende leichter durch das links stehende austauschen als umgekehrt.

Hofmeister-Kationen-Reihe [16]

Flocker*	Zwischenglieder	Entflocker
H^+ Al^{3+} Ba^{2+} Sr^{2+} Ca^{2+} Mg^{2+}	NH_4^+ K^+	Na^+ Li^+

abnehmend	Zeta-Potential	zunehmend
abnehmend	Dicke der Doppelschicht	zunehmend
zunehmend	Bildsamkeit	abnehmend
zunehmend	Viskosität*	abnehmend

Die *Hofmeister*-Anionen-Reihe mit fallender Adsorptionsneigung lautet:

OH^- CO_3^{2-} $P_2O_5^{4-}$ PO_4^{3-} J^- Br^- Cl^- NO_3^- F^- SO_4^{2-}.

Der Anionenaustausch ist gering und hat auf die Bildsamkeit keinen nennenswerten Einfluß. [17, 150]

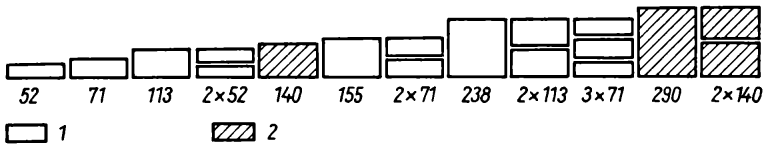
Höhenraster der Ziegel – *Maßabstimmungen von Ziegeln zur Komplettierung von großformatigen Ziegeln.*

Obwohl Mauerwerk so flexibel ist, daß sich im Prinzip jedes Maß erreichen läßt, sind im allg. die Ziegelsortimente auf bestimmte Höhenraster orientiert. Man unterscheidet:

- das oktametrische Grundraster des 1,0 bzw. 1,6 NF-Ziegels mit 71 bzw. 113 mm als wichtigstes H. (alle weiteren Höhen sollten sinnvollerweise auf diese beiden Standardformen abgestimmt sein),
- das dezimetrische 140- bzw. 290-mm-H. (in diesem Falle müssen die großformatigen Ziegel mit extra hergestellten Erzeugnissen dieser Höhe komplettiert werden).

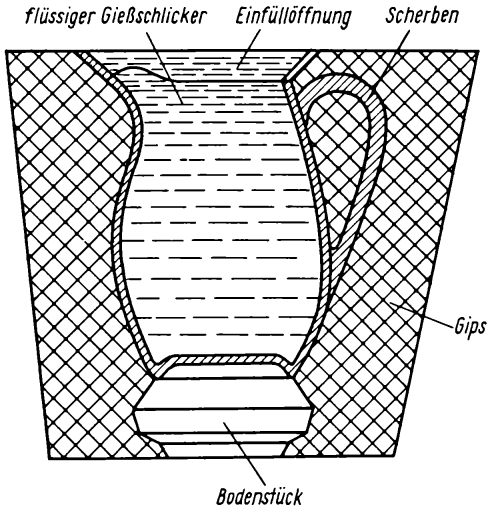
(s. Bild S. 215 oben) [157]

Hohlguß – *Gießverfahren in der Geschirr- und Zierkeramik.* Nach Eingießen des Schlickers in eine (oft rotierende) Gießform bildet sich innerhalb einer gewissen Standzeit durch Ansaugen



Einordnung der Ziegel-Höhenraster (Höhenmaße in mm)
1 oktametrisch
2 dezimetrisch

von der Gipsformwand her der Scherben. Danach wird der überschüssige Schlicker entfernt. Durch die Schwindung des Formlings löst sich dieser von der Gipswand und kann aus der Form entnommen werden (s. Bild).



Scherbenbildung beim Hohlguß

Hohlkugelkorund – *durch Verblasen von im Lichtbogenofen geschmolzenem Al_2O_3 gewonnenes hochfeuerfestes Produkt.* Die Größe der Hohlkugeln ist von der Technologie abhängig und kann Durchmesser bis 5 mm erreichen. Entsprechend bewegt sich die Druckfestigkeit zwischen 4 bis 6 MPa (sie kann für das Einzelkorn wesentlich höher liegen). Nach der Struktur stellen die Kugeln α-Al_2O_3 dar. Die Rohdichten liegen zwischen 1,0 und 1,6 g cm^{-3}, die Anwendungstemperaturen zwischen 1650 und 1850 °C. H. ist ein ausgezeichneter Wärmedämmstoff und dient als Zuschlagstoff für die Herstellung von feuerfesten Leichtsteinen* und Feuerbeton* und kann direkt den Verbrennungsgasen ausgesetzt werden, ist aber auch für Filter, als Katalysatorträger und als Schleifmittel geeignet. [124, 168]

Hohlziegel – *grobkeramische Strangpreßerzeugnisse mit einem Hohlraumanteil ≧ 15 Vol.-%.*
Entsprechend dem Verlegeschema wird unterschieden:
- *Langlochziegel* mit horizontal zur Lagerfuge verlaufender Lochung; sie werden in Größen 1,0 bis 15,0 NF, einer Rohdichte 1,20 bis 1,30 kg dm^{-3} und einer Druckfestigkeit von 5 bis 50 MPa hergestellt.
- Hochlochziegel mit senkrecht zur Lagerfuge verlaufender Lochung; sie werden in Größen 1,0 bis 5,5 NF, einer Rohdichte 1,40 bis 1,80 kg dm^{-3} und einer Druckfestigkeit von 15 bis 35 MPa hergestellt.

Gegenwärtig werden die meisten Mauerziegel* wegen der besseren Wärmedämmung gelocht mit einer Rohdichte ≦1,80 kg dm^{-3} produziert; H. müssen nicht frostbeständig sein.
(1 NF = Normalformat (240 × 115 × 71 mm), entsprechend einem Volumen von 1959,6 cm^3). [157]
s. Lochziegel

homodesmisch (griech.: homos = gleich, desmios = gebunden) – *Kristallstruktur mit nur einer Bindungsart*, z. B. Steinsalz mit Ionenbindung, Diamant mit Atombindung usw.

Homogenität – *Zustand einer Arbeitsmenge, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die Arbeitsmenge in allen ihren Teilen aus gleichbeschaffenen Stoffkomponenten besteht* (allg.).
Von *Haase* wurde dieser Zustand zum Homogenitätsprinzip erhoben und umfaßt Forderungen in bezug auf:
- die chemische und mineralogische Zusammensetzung,
- die Feuchtigkeit,
- die Korngrößenverteilung und Packungsdichte,
- die makrotexturfreie Anordnung der Teilchen,
- die Verteilung der Luft.

Wie streng das Homogenitätsprinzip eingehalten werden muß, hängt vom herzustellenden Erzeug-

nis und von dessen zu fordernden Parametern ab.

Soll die H. einer Masse/heterogenen Gemenges beschrieben werden, so wird die statistische Analyse herangezogen. Aus repräsentativen Proben werden die statistischen Verteilungscharakteristika der Konzentration einer oder mehrerer Komponenten in der Mischung bestimmt und mit den statistischen Charakteristika einer Zufallsmischung (idealer Mischung) mit Binomialverteilung verglichen. Aus diesem Vergleich kann der Grad der Abweichung einer realen Mischung von einer idealen Mischung bestimmt sowie ein Maß für die Abweichungen von den Idealzuständen gefunden werden. Die Ergebnisse können dann in Form verschiedener Mischgüte-Kenngrößen *(MK)* dargestellt werden:

$$MK_1 = \frac{\sigma_{min}}{s} \qquad MK_2 = \frac{s}{\sigma_{max}} \qquad MK_3 = 1 - \frac{s}{\sigma_{max}}$$

$$MK_4 = s^2 - \sigma^2_{min} \qquad MK_5 = \frac{\sigma_{max}}{s^2} \qquad MK_6 = \frac{\sigma^2_{max}\, s^2}{\sigma^2_{max} - \sigma^2_{min}}$$

s^2 Varianz
s Standardabweichung der Proben
σ^2_{min} minimale Varianz
σ_{min} Standardabweichung der vollständigen Zufallsmischung.

Für Mischungen mit idealer Homogenität gilt für gleichgroße Proben genügender Menge:

$$\sigma_{min} \rightarrow 0$$

σ^2_{max} Varianz
σ_{max} Standardabweichung des völlig entmischten Systems,

$$\sigma^2_{max} = q(1 - q)$$

q Volumenanteil der dispergierten Phase.

[121]

s. Mischgüte

Honen – *spanendes Feinbearbeitungsverfahren zur Verbesserung der Maßhaltigkeit und Oberflächengüte von Werkstücken, besonders von Innenflächen.*

Das Langhubhonen oder Ziehschleifen wird meistens auf Senkrechthonmaschinen ausgeführt, wobei das Werkzeug, die sog. Honahle (spezielle Schleifkörper), rotiert und gleichzeitig auf und ab bewegt wird. Die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifkörper beträgt etwa 50 m min^{-1}, die erreichbaren Maßgenauigkeiten liegen bei ±0,002 mm.

Beim Kurzhubhonen, auch Superfinshen genannt, werden die Schleifkörper noch mit Drücken von etwa 1 MPa an die zu bearbeitenden Wandungen gedrückt, außerdem schwingt das Werkzeug mit einer Frequenz von 10 bis 30 Hz. Dieses Verfahren erbringt eine spiegelnde Oberfläche. H. wird insbesondere bei Erzeugnissen der Konstruktionskeramik* angewendet. [492]

***Hooke*sches Gesetz** – *ein von Hooke (1635 bis 1703) entdecktes Gesetz, wonach bei der Verformung (Dehnung, Verdrillung, Biegung) eines elastischen festen Körpers die auftretende Gegenkraft im gleichen Verhältnis wie die die Verformung bedingende Kraft wächst.* Für die Dehnung gilt:

$$\sigma = \varepsilon E$$

σ Spannung im Körper (in Pa bzw. N m^{-2})
E Elastizitätsmodul (in Pa)
ε $\Delta l/l$ Längung

Exakt gilt das *Hooke*sche Gesetz nur bis zur Elastizitätsgrenze, d.h. bis zu der Grenze, bei der die elastische Verformung in die plastische übergeht. Bei keramischen Werkstoffen wird die plastische Verformung nicht erreicht, sie gehen vorher zu Bruch.

Hornstein – *dichtes, zähes Gestein von bläulich-bräunlich-schwarzer Farbe*; Gemenge von Opal und Chalcedon.

Verwendung: Schotter; auch für Silicasteine

[8]

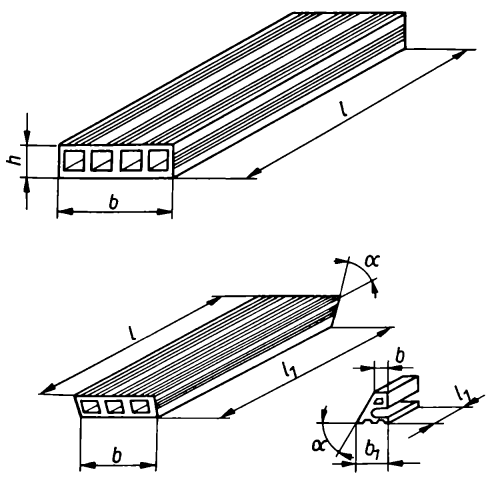
Höroldt, Johann Gregorius (1696 bis 1775) – *begründete neben Kändler den Ruhm der Meißner Porzellanmanufaktur.* In kurzer Zeit erfand er die Porzellanfarben, die das heimische Porzellan dem ostasiatischen konkurrenzfähig machten. Seine frühesten Arbeiten (etwa bis 1726) waren noch in der Art japanischer und chinesischer Porzellane. Die Vorlagen für die Malereien entwarf er z.T. selbst und bestimmte auch die Arbeitsgebiete der ihm unterstellten Maler. Als *Höroldt*-Malerei bezeichnet man jene indianischen Blumen mit Vögeln und Insekten und jene Chinoiserien, die in Meißen von 1720 bis um 1740 gemalt wurden. Unter seiner Leitung wurde auch das Unterglasurblau-Zwiebelmuster entwickelt. *H.* war von 1720 bis 1764 in der Meissener Manufaktur tätig.

Hourdis – *Tonhohlplatten, großformatige Langlochziegel, die für Deckenelemente, Trennwände, vorgefertigte Raumzellen, Fertigteilgaragen sowie zur Altbausanierung verwendet werden.* Herstellungslänge auch >1 000 mm (s. Bild).

s. Hohlziegel

Hubel
1) Halbzeug aus keramischer Masse; ein durch freies Aufdrehen auf der Drehscheibe aus Masse und Ton geformter Körper, der in Größe und Gestalt etwa dem späteren Erzeugnis entspricht. Der H. wird in oder auf eine Gipsform gegeben und mit Hilfe einer Schablone fertiggeformt.
2) Stücke eines zerteilten Massestranges (Strangpresse), aus denen z. B. mit Hilfe von Kopiermaschinen Isolatoren gedreht (geschält) werden.

Hüftgelenkendoprothese, keramische – *durch operativen Eingriff in den menschlichen Körper implantierter Keramik-Metall-Verbund, der die Funktion eines durch Krankheit oder Unfall zerstörten Oberschenkelhalsknochens übernimmt.*
K. H. setzen sich zusammen aus einer gesinterten, hochglanzpolierten Al_2O_3-Kugel und einem Schaft aus einer korrosionsfesten Cobalt-Gußlegierung (Prothecast), die über eine Steckverbindung miteinander verbunden sind. Prothecast zeichnet sich durch hohe Biegewechselfestigkeit aus; H. sind im Durchschnitt im Jahre etwa $7 \cdot 10^6$ Lastwechsel ausgesetzt. Die zur Aufnahme der Kugel bestimmte Pfanne besteht, soweit sie ersetzt werden muß, ebenfalls aus Al_2O_3 oder Polyethylen (s. Bild im Kunstdruckteil).
Da H. über lange Zeit hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, dürfen die Keramikteile keinerlei Korrosionserscheinungen und bei der Reibung Keramik gegen Keramik praktisch keinen Abrieb aufweisen. Diese Eigenschaften werden erreicht durch hochreine Rohstoffe sowie eine Spezialtechnologie, die zu dem geeigneten Gefüge führen, welches durch eine Mittenrauhigkeit $R_a = 0{,}03$ µm, eine Rauhtiefe $R_t = 0{,}1$ µm und durch eine Formabweichung der Kugel < 1 µm gekennzeichnet ist.
Eigenschaften der Al_2O_3-Keramik:
Al_2O_3-Gehalt 99,5 %; $D = 3{,}9$ g cm^{-3}; Biegefestigkeit 400 MPa; mittlere Korngröße 2 bis 3 µm; E-Modul $3{,}8 \cdot 10^5$ MPa.
[248, 381, 382]
s. Biokeramik, Endoprothesen, Implantate, keramische



Hourdisdecke (Tonhohlplatten (Hourdis) einschließlich Auflagerziegel)

Hüllenwasser – *Anteil des Wassers keramischer Rohstoffe und Massen, der in Form eines Films die Teilchen umgibt und deren gegenseitige Verschiebbarkeit gewährleistet bzw. begünstigt.* H. ist z. T. adhäsiv an die Teilchen gelagert und z. T. adsorptiv an die Oberfläche der Teilchen gebunden (mit Tendenz zur Chemisorption). Das an Tonteilchen adsorptiv gebundene Wasser hat, bedingt durch deren Oberflächenstruktur und Kationenbelegung, eine andere Struktur als flüssiges Wasser (tridymitähnliche Eisstruktur). Beim Trockenvorgang tritt H. sehr leicht aus dem Formling aus.

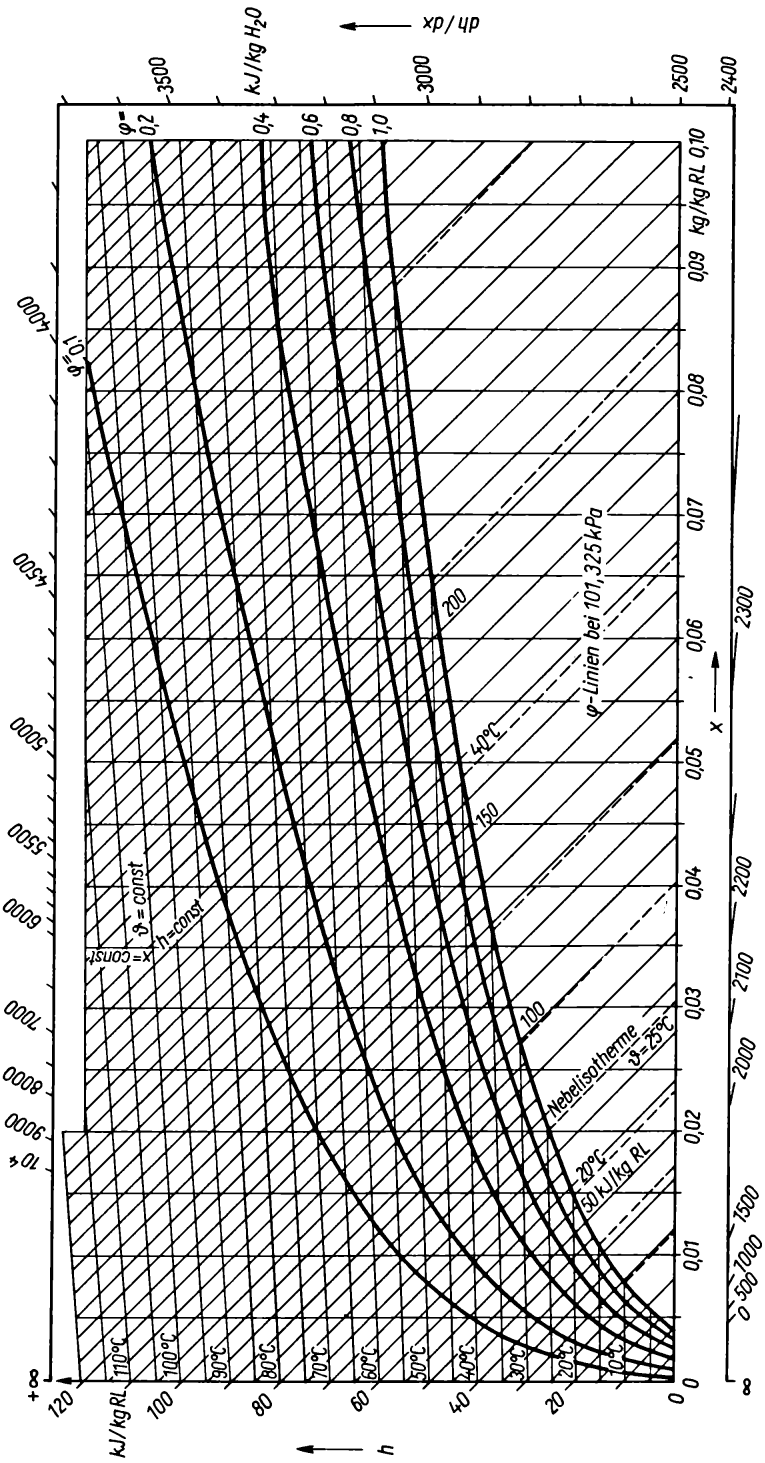
***h, x*-Diagramm** – ein von *Mollier* (1923) aufgestelltes Diagramm über den Zustand der feuchten Luft, mit dessen Hilfe zahlreiche Berechnungen in der Trockentechnik leicht und übersichtlich ausgeführt werden können. Dem Diagramm liegt die Entwurfsgleichung zugrunde:

$$h = 1{,}0\,\vartheta + (2500 + 1{,}93\,\vartheta)\,x$$

h Enthalpie* der Feuchtluft
ϑ Temperatur.
x Feuchtigkeitsgrad.

Der erste Summand $(1{,}0\,\vartheta)$ ist der Wärmeinhalt der trockenen Luft (Reinluft *RL*), der zweite Summand $(2\,500x)$ ist die Verdampfungswärme für x kg Feuchtigkeit (Wasser), und der dritte Summand $((1{,}93\,\vartheta)\,x)$ ist der Wärmeinhalt des Wasserdampfes.
Das Diagramm (s. Bild S. 218) enthält folgende Kurven: Isothermen (ϑ const), Isoenthalpen (h const), Linien gleicher Feuchtigkeit und die Kurven der relativen Feuchtigkeit der Luft. [378, 379] (Zahlreiche Rechenbeispiele siehe in der angegebenen Literatur.)

Hybridtechnik (lat.: hybrida = Mischling) – Sammelbegriff für eine Reihe von Verfahren der



h,x-Diagramm
(φ-Linien bei 101,325 kPa ≙ 1 013,25 mbar ≙ 760 Torr)

Mikroelektronik, bei denen integrierte Bauelemente und integrierte Festkörperschaltkreise durch nach Verfahren der Schichttechnik hergestellte Leitungssysteme zu Funktionsgruppen verbunden sind. Diese Funktionsgruppen nennt man *Hybridschaltkreise.* [418]
s. Schichten, dicke, dünne

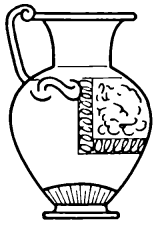
Hydrargillit – *s.* Aluminiumhydroxide

Hydratation (griech.: hydor = Wasser) – *Anlagerung von Wassermolekülen an gelöste Stoffe* (Ionen, Moleküle, Kolloide); die dabei entstehenden Produkte werden *Hydrate* genannt. Die H. trägt wesentlich zur Stabilisierung hydrophiler Kolloide bei. Allgemein ist die H. eines Ions um so stärker, je kleiner sein Radius und je größer seine Ladung sind. Deshalb sind Kationen meist stärker hydratisiert als Anionen. Ein einfacher Hydratationsprozeß ist z. B. auch der Einbau von Kristallwasser in das Gitter des sog. Halbhydrats nach der Gleichung

$$2(CaSO_4 \cdot \tfrac{1}{2}H_2O) + 3H_2O \rightarrow 2(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$$

zu Gips.

Hydria – *Urform der griechischen Vasen, aus der Verbindung des Trichters mit dem Faß entstanden.* Das Gefäß hat zwei horizontale Henkel zum Heben und einen vertikalen zum Tragen. Im mittleren Europa entwickelten sich daraus die Kanne und der Krug. (s. Bild)

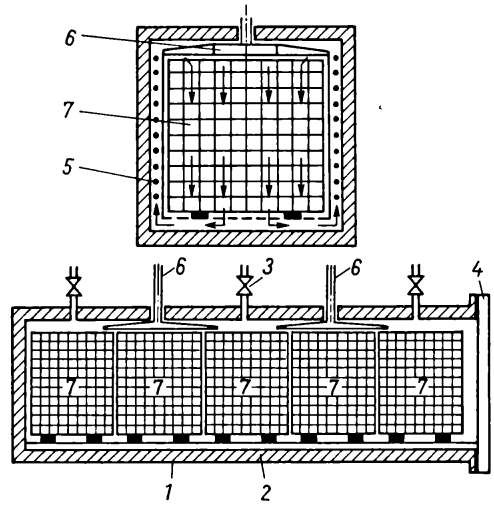


Hydria

Hydritverfahren – *Verfahren zur Verfestigung toniger grobkeramischer Massen, bei dem außer der üblichen Brenntemperatur noch der Wasserdampfpartialdruck der Gasphase im Brenngut als zweiter wesentlicher Brennparameter hinzukommt.*

Aus verfahrenstechnischer Sicht wird die hydrothermale Erhärtung zweckmäßig in die Arbeitsgebiete >800 °C und <800 °C unterteilt. Für das Arbeitsgebiet <800 °C wird das Einrichtungsprinzip (in Anlehnung an *Hohmann* und Mitarb.) durch das folgende Bild beschrieben.

Der elektrisch beheizte Hydritofen besteht aus



Elektrischer Hydritofen zum kombinierten hydrothermalen Trocknen und Brennen

einem gasdichten Druckmantel (*1*), der mit einer wärmeisolierenden Schicht (*2*) und Gas-Überströmventilen (*3*) zum Regulieren des Wasserdampf-Gas-Überdruckes in der Einrichtung versehen ist. Dieser Überdruckbehälter besitzt stirnseitig eine gasdichte Verschlußvorrichtung (*4*). Die Wärmezuführung erfolgt durch Elektroenergie über elektrische Heizleiter (*5*), die an der Innenwandung der Einrichtung angebracht sind. Über Ventilatoren (*6*) werden die Wärmeübertragungsverhältnisse innerhalb des Überdruckbehälters durch erzwungene Konvektion kontrollierbar gestaltet, indem das Wasserdampf-Gas-Gemisch zur Wärmeabgabe durch Hohlräume in oder zwischen dem auf Korbwagen (*8*) gestapelten Einsatzgut (*7*) hindurchgedrückt und danach zur Wärmeaufnahme an den elektrischen Heizleitern (*5*) zwangsweise vorbeigeführt wird. Dem diskontinuierlich arbeitenden Ofen kann zusätzlich Fremddampf oder Wasser zur Zwangskühlung zugeführt werden. Durch das Brennen bei Temperaturen unter 800 °C ergeben sich für den Ziegelbrand folgende Vorteile:

- Schnellbrand mit einer Behandlungszeit von 20 ± 2 h, bedingt durch die niedrige Temperaturlage und die Besonderheiten der hydrothermalen Erhärtungsabläufe,
- Verwendung minderwertiger, besonders kalkreicher Tone, bedingt durch die reduzierte CaO-Bildung und die Erzielung höherer Scherbenfe-

stigkeiten im Vergleich zum klassischen keramischen Brand,
- Unterbindung der Fluorfreisetzung aus dem keramischen Rohmaterial,
- Verringerung des spezifischen Energieaufwandes.

[375, 376]

Hydroglimmer – *s.* Illite

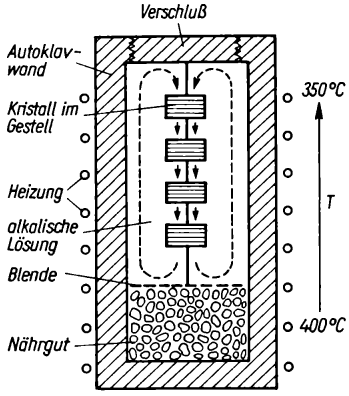
Hydrophobieren (griech.: phobos = Angst) – Verhindern des Beschlagens von Oberflächen durch Wasser z. B. mittels Siliconöls.

Hydrothermalsynthese (griech.: hydor = Wasser; thermos = warm; syn = zusammen; thesis = Aufbau) – *Kristallzüchtung in wäßriger Lösung bei Temperaturen von 100 bis 1 000 °C und Drücken bis 300 MPa unter Verwendung von Autoklaven* (dickwandige Stahlkessel).

Die H. ähnelt im Prinzip einer Umkristallisation und ist durch die Abschnitte
- Auflösen der Ausgangssubstanz (Substanzabbau),
- Keimbildung der neuen Phase (soweit nicht Impfkristalle zugesetzt werden),
- Wachsen der neuen Phase

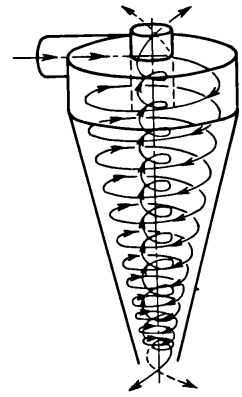
gekennzeichnet. Gegenüber anderen Kristallzüchtungsverfahren hat die H. den Nachteil, daß das Wachsen der Kristalle und die Konzentrationsänderungen nicht unmittelbar verfolgt werden können. Von den durch H. erzeugten Kristallen steht an erster Stelle der unverzwillingte Quarz für Piezozwecke.

Die Wachstumsgeschwindigkeit ist allgemein gering; für Quarz werden Wachstumsgeschwindigkeiten von etwa 1 mm d^{-1} genannt. Außer Quarz werden noch Granate*, Alumosilicate*, Magnesiumsilicate (z. B. Speckstein) auf dem Wege der H. gewonnen. [8, 374]



Schematische Darstellung der hydrothermalen Quarzsynthese

Hydrozyklon – *in der Aufbereitungstechnik ein Gerät zum Wasserklären, Eindicken und Klassieren von Suspensionen, das aus einem zylindrischen und einem nach unten konisch auslaufenden Teil mit Düsen (Aufgabe-, Unterlauf- und Überlaufdüse) besteht.* Die Suspension wird mit 0,2 bis 1,0 MPa Überdruck tangential in den zylindrischen Teil eingeleitet und bewegt sich spiralförmig nach unten (Primärwirbel), (s. Bild). Die Feststoffteilchen werden entsprechend ihren Massen durch die Fliehkraft an die Wandung gedrückt, während sich ein Sog (Unterdruck) ausbildet. Dieser Sog zieht als Sekundärwirbel die Feinteilchen nach oben; das Grobgut tritt unten aus. Die Kornscheide des H. reicht von 5 bis 250 µm, die Durchsatzleistung von 2 bis 500 m^3 h^{-1}. Vielfach sind mehrere H. zu Batterien zusammengefaßt.



Wirbelströmungen im Hydrozyklon, schematisch

Hysterese (griech.: hysteresis = Mangel, Nachstehen) – *Form der Relaxation, die sich phänomenologisch darin äußert, daß eine abhängige Veränderliche je nach Richtung der Veränderung einer unabhängigen Veränderlichen zwei verschiedene Werte annehmen kann.* H. wird besonders bei nicht ideal reversiblen Vorgängen beobachtet, z. B. bei Magnetisierungs-, Erwärmungs-, Abkühlungs- und Adsorptionsvorgängen, ferner bei Sol-Gel-Umwandlungen u. a.

I/J

Idealkristall (Idealstruktur) – *mathematische Abstraktion des Kristalls mit streng periodischem Aufbau, die dem Realkristall gegenübergestellt wird.* Am I. wird versucht, Bildung, Eigenschaften und Verhalten der Kristalle bei Beanspruchung zu erklären. Bei dieser Gegenüberstellung entdeckt man störungsunempfindliche Eigenschaften, die sich theoretisch aus dem I. ableiten lassen (z. B. Dichte, *E*-Modul, optische Daten u. a.), und störungsempfindliche Eigenschaften, deren Zahlenwerte bei derselben Kristallart sehr stark schwanken (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Wachstum, Ätzbarkeit u. a.).

Illit ($(K, H_3O)Al_2[(OH)_2/AlSi_3O_{10}]$) – *in Tonteilchengröße vorkommender Hydromuskovit, häufigstes Tonmineral der jüngeren (tertiären) Tone.*

Chemische Zusammensetzung: K_2O-Gehalt zwischen 2 bis 9%; in der Zwischenschicht teilweiser Ersatz von K^+ durch H_3O^+, in der Oktaederschicht Ersatz von Al^{3+} durch Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}.

Kristallographie: monoklin – nichtquellfähiges dioktaedrisches Dreischichtalumosilicat. Da die H_3O^+-Moleküle nur wenig größer sind als das K^+-Ion ($H_3O^+ \approx 1{,}5$ Å, $K^+ = 1{,}33$ Å), passen sie genau wie K^+ in den pseudohexagonalen Ring der Tetraederschicht zwischen die Dreischichtpakete.

Physikalische Eigenschaften: weiß; Aggregate schuppig, feinplattig; Teilchengröße <2 µm.

Genese: Illitbildung erfolgt in neutralen bis basischen K-Al-Si-führenden Lösungen. I. können sich in feuchtem Milieu in Montmorillonite* umwandeln. Bei vollständiger Umwandlung entstehen dabei Wechsellagerungsminerale* in geordneter oder ungeordneter Schichtfolge von Illit- und Montmorillonitschichten. Montmorillonite können sich auch umgekehrt in I. umwandeln.

Diagenese: I. fühlt sich fettig an. Unter dem Elektronenmikroskop erscheinen unregelmäßige, blättchenförmige Aggregate mit teilweise scharfer Begrenzung, gelegentlich auch wolkenartiges Aussehen.

Ionenaustauschkapazität: 10 bis 40 mval/100 g in Abhängigkeit von der Korngröße.

Keramik: hohe Bildsamkeit, hohe *TBF*, günstiges Brennverhalten.

s. Differentialthermoanalyse, Silicate

Ilmenauer Porzellanmanufaktur – *1777 von Gräbner gegründet.* Bis gegen Ende des 18. Jh. wurden Meißner Erzeugnisse der Frühzeit imitiert. Später wurde zweifarbiges (blau-weiß) Wedgwood-Biskuit nachgeahmt. Der heutige volkseigene Betrieb, der vor allem Gebrauchs- und Zierporzellane herstellt, ist unter dem Namen »Graf Henneberg« v. a. durch seine Cobaltblau- und Golddekorationen bekannt geworden.

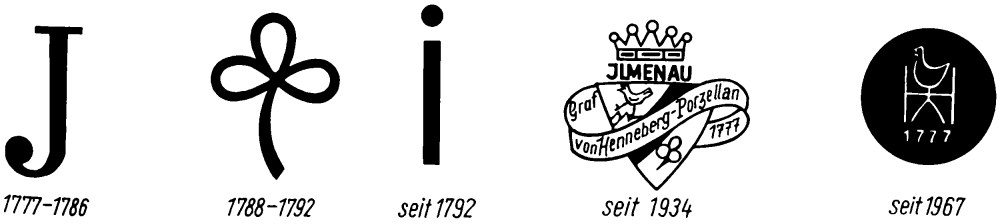
Marken (s. Bild): »J« als Spiegelmonogramm, dreiblättriges Kleeblatt auf der Glasur, seit 1792 »i« unter der Glasur, seit 1934 Wappen, Krone und Inschrift

In den 60er Jahren entstand in Ilmenau eines der größten und modernsten Porzellanwerke Europas.

Imari-Porzellan – japanisches Exportporzellan des 17. Jh., benannt nach dem Ausfuhrhafen, mit dichtem, prunkvollem Dekor, bei dem Cobaltblau, Eisenrot und Gold vorherrschen.

Immersionsflüssigkeit (lat.: immergere = eintauchen) – *Einbettungsflüssigkeit, deren Brechzahl n bekannt ist.* I. dienen zur Bestimmung der Brechzahl von Kristallen u. a. nach der Immersionsmethode (Auswahl der gebräuchlichsten Immersionsflüssigkeiten s. Tabelle S. 222).

Immersionsmethode – Verfahren zur Bestimmung der Brechzahlen von Kristallen u. a. durch Vergleichen der Lichtbrechung der Untersuchungsobjekte mit der der Immersionsflüssigkei-



Fabrikmarken der Ilmenauer Porzellanmanufaktur

Immersionsflüssigkeit	*n*
Wasser	1,33
Ethylether	1,356
Ethylalkohol	1,36
Amylalkohol	1,40
Chloroform, Cimol	1,45
Olivenöl, Terpentinöl, Hexahydrophenol	1,47
Rizinusöl, Dekalin	1,48
Isoamylphthalat, Tetrachlorethan, Cumol	1,49
Benzol, Pentachlorethan	1,50
Trimethylenbromid	1,51
Monochlorbenzol, Zedernöl	1,52
Ethylenbromid mit Monochlorbenzol	1,53
Nelkenöl, o-Nitrotoluol	1,54
Kanadabalsam, Nitrobenzol	1,55
Anisöl, Xylidin	1,56
o-Toluidin, Anethol	1,57
Anilin	1,58
Bromoform	1,59
Monojod- mit Monobrombenzol, Zimtöl	1,60
Chinolin	1,62
α-Chlornaphthalin, Schwefelkohlenstoff	1,63
α-Brom- und α-Chlornaphthalin	1,64...1,66
α-Monobromnaphthalin	1,66
α-Brom- und α-Iodnaphthalin	1,66...1,69
Methylenjodid und Monojodbenzol	1,70...1,73
Methylenjodid	1,74

ten, wobei man sich der *Beck*schen Linie* bedient.

Immersionssysteme – *Mikroskopobjektive, bei denen sich zwischen Untersuchungsobjekt und Frontlinse eine Flüssigkeit befindet.* I. haben eine höhere numerische Apertur und damit ein größeres Auflösungsvermögen. Man unterscheidet gewöhnlich zwischen Wasser- und Öl-I.

Immission (lat.: immittere = hineinstürzen) – *die Gesamtheit der flüssigen, gasförmigen und festen Luftschadstoffe* in Berührung bzw. Einwirkung auf die Erdoberfläche.* Im weiteren Sinne zählen zur I. auch Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme und Strahlungen.

I. können das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen erheblich beeinträchtigen, Tier- und Pflanzenwelt schädigen und zu volkswirtschaftlichen Verlusten der Land- und Forstwirtschaft führen. Die I. der Luftschadstoffe werden durch folgende Konzentrationswerte charakterisiert:

- Angaben in mg m^{-3} i. N.; in Teilchenzahl/m^3 i. N.; in ppm (parts per million – mit Angabe, ob Massen-ppm oder Volumen-ppm),
- Niederschlagswerte für Staub in g m^{-2} je Monat oder kg km^{-2} je Jahr.

Die I. ist abhängig von der Art der Emissionsquellen, von den meteorologischen Bedingungen für die Schadstoffausbreitung und für die Veränderungen der Schadstoffe auf dem Wege zwischen Emission und I. [210]

Immissionsgrenzwerte – *Werte für luftverunreinigende Stoffe,* bei deren Einhaltung nach dem

Zusammenstellung einiger *MIK*-Werte

Bezeichnung des Schadstoffs	Konzentration in mg m^{-3}	
	MIK_K	MIK_D
Aceton	1,0	0,35
Ethanol	15,0	5,0
Ammoniak	0,3	0,1
Benzin (aus Erdöl mit geringem S-Gehalt)	5,0	1,5
Benzol	1,5	0,8
Butanol	0,3	0,1
Chlor	0,1	0,03
Chlorwasserstoff	0,050	0,015
Chrom (berechnet als CrO_3)	0,0015	0,0010
Essigsäure	0,20	0,06
gasförmige Fluorverbindungen (HF, SiF_4; berechnet auf F)	0,020	0,005
leicht lösliche anorganische Fluoride (NaF, Na_2SiF_6)	0,03	0,01
wenig lösliche anorganische Fluoride (AlF_3, Na_3AlF_6, CaF_2)	0,20	0,03
Formaldehyd	0,035	0,012
Kohlenmonoxid	3,0	1,0
Methanol	1,0	0,5
Naphthalin	0,003	0,001
Nitrobenzol	0,010	0,005
Phenol	0,03	0,01
Quecksilber	–	0,0003
Salpetersäure	0,14	0,06
Ruß	0,15	0,05
Schwefeldioxid	0,50	0,15
Schwefelkohlenstoff	0,030	0,003
Staub (nichttoxisch)	0,50	0,15
Stickoxide (berechnet als NO_2)	0,10	0,04
Tetrachlorkohlenstoff	4,0	2,0
Toluol	2,0	0,8
Vinylacetat	0,40	0,15
Xylol	0,6	0,2

derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand keine schädigenden Auswirkungen für Mensch, Tier und Pflanze zu erwarten sind.
Es muß zwischen Kurzzeitgrenzwerten (MIK_K) und dem Dauergrenzwert (MIK_D) unterschieden werden. [211]

Immissionskonzentration, maximale *(MIK) – Grenzwerte für luftverunreinigende Stoffe, die außerhalb des Arbeitsplatzes auf die Umwelt einwirken und deren Auftreten nach dem Erkenntnisstand der Wissenschaft keine schädigenden Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen erwarten lassen.*
Es muß unterschieden werden:
- MIK_K (Kurzzeitgrenzwerte) – kurzzeitige Spitzenkonzentrationen für einen Bezugszeitraum von 10 bis 30 min,
- MIK_D (Dauergrenzwerte) – Bezugszeiträume von 24 h.

Die für die DDR geltenden MIK-Werte sind im Gesetzblatt Teil I Nr. 18 vom 24. April 1973 festgelegt (s. Tabelle S. 222, rechte Spalte) [210]
s. Lärm

Implantate, keramische (lat.: planta = Pflanzling) – *in den menschlichen/tierischen Körper steril und langzeitig einsetzbarer biokompatibler Knochen- bzw. Gefäßersatz auf der Basis keramischer Werkstoffe.*
Von k. I. werden gefordert:
- höchste Körperverträglichkeit, d. h., die Stoffe müssen inert und atoxisch sein,
- höchste Korrosionsfestigkeit, d. h., die Stücke müssen sich beliebig oft sterilisieren lassen,
- hohe mechanische Festigkeit.

Diese Forderungen werden gegenwärtig erfüllt von hochreinem Al_2O_3, ZrO_2, Si_3N_4, SiC, SIALON, C, Calciumphosphat und Apatitkeramik.
Medizinische Anwendung: Gelenkendoprothesen, Kieferimplantate, Gehörknöchelersatz, Herzklappen, Sehnenersatz u. a. [248, 382]
s. Hüftgelenkendoprothese, Biokeramik

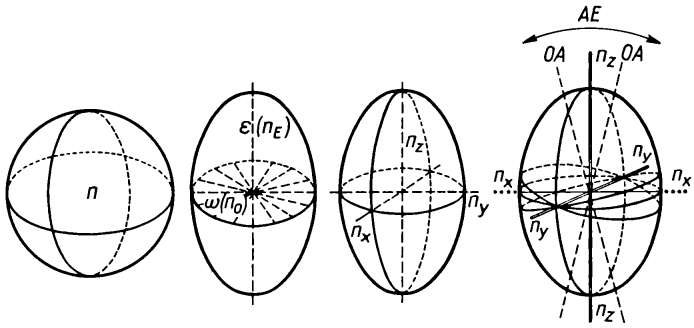
Impulsbrenner (lat.: inpellere = fortstoßen) – *Brennersysteme, bei denen der Brennstoff (Gas, Öl, feste Brennstoffe) von oben (Deckenbrenner) rhythmisch zugeführt wird* (analog dem Diesel-Einspritzprinzip). Der Brennstoff wird in Zwischenräume innerhalb des Brenngutbesatzes eingedüst bzw. eingestäubt, wobei Frequenz und Impulsbreite variiert werden. Die erforderliche Verbrennungsluft wird entweder durch Unterdruck aus der Kühlzone angesaugt oder durch einen Lüfter eingedrückt. Über die Brenner selbst wird nur so viel Luft zugeführt, wie zu deren Kühlung notwendig ist.
Dieses Brennersystem hat nach *P. Maier* folgende Charakteristik:
- hohe Wärmeübergangszahlen durch pulsierende Verbrennung (jeder Impuls löst eine kleine Explosion aus),
- einfache Steuerbarkeit,
- hohe Wirtschaftlichkeit durch Einsatz hoch vorgewärmter Verbrennungsluft (annähernd gleich der Prozeßtemperatur),
- Leistungsverlust des Ofens durch die Besatzlükken, die als Verbrennungsraum erforderlich sind,
- Schwierigkeiten bei der Steuerung einer örtlich gleichen oder vorgegebenen differenzierten Atmosphärenzusammensetzung.

[143, 223]

Indialith (α-Cordierit, $Mg_2Al_3[AlSi_5O_{18}]$) – bildet sich, wenn Magnesiamassen mit Schamotte, Mullit u. ä. reagieren. I. findet sich in einigen keramischen Werkstoffen mit kleinem Wärmeausdehnungskoeffizienten.
s. Cordierit

Indikatrix (lat.: indicare = anzeigen) – *eine Hilfsfläche, die es ermöglicht, zentrosymmetrische Eigenschaften (optische, thermische, magnetische, elektrische) durch ein rechtwinklig aufeinander stehendes Vektorentripel zu charakterisieren.* Ein Vektor wird dabei jeweils dem maximalen, dem minimalen und dem mittleren Betrag des Effekts zugeordnet. Wird mit Hilfe der drei Hauptvektoren ein Ellipsoid konstruiert, so stellt die Bezugsfläche die jeweilige physikalische Eigenschaft dar. Für jede Zwischenrichtung läßt sich die Größe des Effekts durch den Radiusvektor vom Mittelpunkt aus angeben.
- Beim triklinen, monoklinen und orthorhombischen System entsteht als Bezugsfläche ein dreiachsiges Ellipsoid.
- Das tetragonale, hexagonale und trigonale System haben eine mehr als zweizählige Achse gemeinsam, d. h., die Bezugsfläche wird ein Rotationsellipsoid.
- Im kubischen System stehen drei gleichwertige Hauptachsen senkrecht aufeinander, d. h., das Ellipsoid wird zur Kugel. (Kubische Kristalle verhalten sich für die betreffende physikalische Eigenschaft isotrop.)

(s. Bild S. 224)



Bezugsfläche (Indikatrix) für physikalische Konstanten, hier: für Darstellung des Brechungsindex in den verschiedenen Kristallsystemen

Indischmalerei – *eine Malerei mit stilisierten Motiven und einfachen Mustern, die aus sorgfältigen Konturenzeichnungen mit einfacher Kolorierung und oft mit durchsichtigen, in kräftigen Lagen aufgetragenen (selten schattierten, oft kontrastreich gegeneinanderstehenden) Farben bestehen.* Ein typisches Beispiel der I. ist das Meissener Drachenmuster.

inert (lat.: iners = müßig, träge) – Bezeichnung für solche Stoffe, die mit anderen nicht reagieren.

Infrarot (IR; Syn.: Ultrarot, UR) – *im elektromagnetischen Spektrum jenseits von Rot liegendes, für das menschliche Auge unsichtbarer Spektralbereich.* Es ist eine reine Temperaturstrahlung und umfaßt die Wellenlängen von 0,76 bis etwa 200 µm. Die Wechselwirkungen der IR-Strahlung mit der Materie beruhen auf deren Eigenfrequenz und äußern sich in Dispersion, Streuung, Reflexion und Absorption. Nur bei Absorption wird IR in Wärme umgewandelt und führt zu Temperaturerhöhung des absorbierenden Mediums.

IR kann mit
- thermischen Empfängern (Thermosäulen, Vakuumthermoelemente, Radiometer),
- photoelektrischen Empfängern (Photozellen, Photoelemente) und
- infrarotsensibilisierten Filmen

nachgewiesen werden.

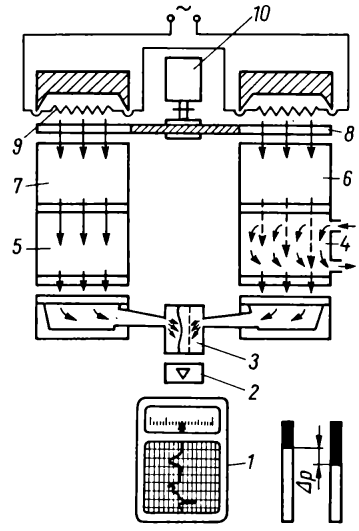
Als Strahlungsquellen werden punktförmige oder flächenhafte, elektrisch- oder gasbeheizte Temperaturstrahler herangezogen.

Anwendungsgebiete: Trockentechnik, Heizungstechnik.

[143, 160]

Infrarot-Absorptions-Gasanalysator – *Gerät zur physikalisch-optischen kontinuierlichen Messung von Gaskonzentrationen bzw. Gasspuren.*

Das Gerät nutzt die Gesetzmäßigkeit, daß einzelne Gase nur Strahlen von bestimmten Wellenlängen absorbieren. Die von zwei stabilisierten Infrarotstrahlern kommenden, periodisch durch ein Blendenrad unterbrochenen Wärmestrahlen gelangen über Filterkammern in die Vergleichs- und Analysenkammer (s. Bild). In der Vergleichskammer (sie enthält Ar, N_2) erfolgt keine Absorption, d. h., die Wärmestrahlung trifft ohne Verluste auf die Empfängerkammer. Dagegen wird die Wärmestrahlung in der Meßkammer entsprechend der Konzentration der gesuchten Gaskomponente geschwächt. In Abhängigkeit von der vorliegenden



Prinzip des Infrarot-Absorptionsgasanalysators

1 Schreiber
2 Verstärker
3 Membrankondensator
4 Meßkammer
5 Vergleichskammer
6 und *7* Filterkammer
8 Blendenrad
9 Infrarotstrahler
10 Elektromotor

Gaskonzentration wirkt auf einen Membrankondensator ein Temperatur-Druck-Effekt, dessen Wert als elektrische Größe nach anschließender Verstärkung gemessen wird. An einer umgeeichten Skala in Einheiten der Gasmenge können die vorhandenen Meßwerte unmittelbar abgelesen werden. I. A. G. werden bevorzugt zur Erfassung von CO und CO_2 herangezogen. Es können auch N_2O, C_2H_2, CH_4 u. a. gemessen werden, d. h. Gassorten, die sich wenigstens aus zwei Atomarten zusammensetzen. Nicht erfaßt werden können nach diesem Verfahren gleichatomige Gase, wie O_2, N_2, H_2, Edelgase und Metalldämpfe.
Die Totzeit eines I. A. G. beträgt 1 s, der normale Gasdurchsatz etwa 40 l/h. Bei Verwendung von Gasschaltern sind auch größere Durchsatzmengen erreichbar. [22, 566]

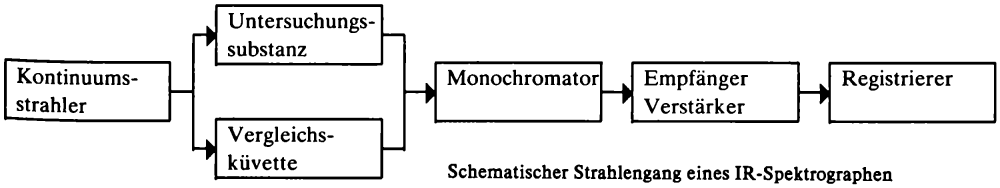
Infrarot-Spektroskopie (IR- bzw. UR-Absorptionsanalyse; lat.: infra = unterhalb, spectare = spähen; griech.: skopein = untersuchen) – *Verfahren zur qualitativen und quantitativen Phasenanalyse feinkörniger Substanzen sowie zur Strukturuntersuchung organischer Stoffe.* Die I.-S. beruht darauf, daß die Moleküle Strahlungen der Wellenlängen 2 bis 50 µm – entsprechend einer Wellenzahl 5 000 bis 200 cm^{-1} – absorbieren und in charakteristische Schwingungsbewegungen umsetzen und damit Informationen über ihre Größe und ihre Bindungskräfte liefern (s. Schema).
Ein thermischer Kontinuumsstrahler sendet polychromatische IR-Strahlung aus, die zeitlich gleich Untersuchungssubstanz und Vergleichsprobe passiert. Die Strahlung, aus der die Untersuchungssubstanz bestimmte, für sie typische Anteile absorbiert hat, wird in einem Monochromator spektral zerlegt. Als Empfänger zum Messen dieser Strahlung dienen Thermoelemente. Sie messen den von der Probe durchgelassenen Lichtstrom I im Verhältnis zum unveränderten Vergleichsstrom I_0 für jede Wellenlänge des eingestrahlten Spektralbereichs. Registriert wird die Durchlässigkeit $D = I/I_0$. Bei der qualitativen Phasenanalyse liefert das IR-Spektrum für jede Phase ein spezielles Charakteristikum. Die quantitative Phasenanalyse nutzt den Zusammenhang zwischen Konzentration eines Anteils in der Probe und der Intensität einer für ihn spezifischen Bande. Sie beruht auf der Tatsache, daß bei monochromatischer Strahlung die Konzentration des zu absorbierenden Stoffes der Extinktion* proportional ist (*Lambert-Beer*sches Gesetz). In günstigen Fällen können Anteile von 0,1 % im Gemenge bestimmt werden (s. Tabelle). [31]

Mineral	Nachweisgrenze in %	Präzision bei Konzentrationen von 50 %
Carbonate*	0,5	± 3
Quarz*	1	± 3
Feldspate*	3	± 5
Kaolinit*	3	± 3
Montmorillonit	25	±10

Inglasurfarbe (Hochtemperatur-Schnellbrandfarbe, Einsinkfarbe) – *bei 1 200 bis 1 300 °C in 60 bis 90 min Durchlaufzeit eingebrannte Farbe für scharffeuerähnliche Dekore.* Sie verschmelzen mit der erweichenden Porzellanglasur, sind farbkräftig, glänzend, laugenunempfindlich. Die Auswahl der Farbtöne ist größer als bei den Scharffeuerdekoren (Unterglasurfarben). I. lassen sich wie normale Aufglasurfarben verarbeiten.

Inhibitoren (Wachstumshemmer; lat.: inhibere = unterdrücken) – *Stoffe, die in geringen Konzentrationen keramischen Massen zugesetzt werden, um Reaktionen zu unterdrücken,* die bei Abwesenheit der I. mit merklicher Reaktionsgeschwindigkeit ablaufen würden. Bekannt ist z. B. die Begrenzung des Kornwachstums von Al_2O_3 durch Zusätze von MgO, NiO, ZnO u. a. [123]

Innendruckfestigkeitsprüfung (Berstdruckprüfung) – *ein für keramische Konstruktionsbauteile – speziell Rohre – geeigneter Versuch zur Prüfung der mechanischen Festigkeit.* Das zu prüfende Rohr wird mit Manschetten, die mit Gelatinemassen ausgegossen werden, an beiden Enden abge-



Schematischer Strahlengang eines IR-Spektrographen

dichtet, wobei die Manschetten durch gußeiserne Zylinder gehalten werden. Über eine Rohrleitung wird Druckwasser durch den unteren Zylinder in den Innenraum des Prüflings gedrückt. An einem an der Druckpumpe angebrachten Manometer wird der Druck abgelesen, bei dem das Rohr zu Bruch geht.

Der sog. *Berstdruck* kann in Axial- und Tangentialspannungen umgerechnet werden, wobei die Maximalkraft am Innenrand in tangentialer Richtung auftritt und nach außen abnimmt. 100 bar (≙10 MPa) Berstdruck entsprechen z. B. einer max. Axialspannung von 14 N mm^{-2} und einer max. Tangentialspannung von 38 N mm^{-2}. Geometrieunregelmäßigkeiten (z. B. Unrundheiten) wirken sich auf die Spannungsverteilung aus. Durch Verwendung eines Berstschutzes ist die Handhabung unkritisch. [340, 383]

Inselsilicate (Nesosilicate) – *aus selbständigen $[SiO_4]^{4-}$-Tetraedern aufgebaute Verbindungen.* Die Tetraeder sind durch Kationen miteinander verbunden; Beispiel: Olivin $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$. Im weiteren Sinne können die Tetraeder zu Gruppen zusammentreten (Borosilicate):

- Doppeltetraeder $[Si_2O_7]^{6-}$,
- Dreierringe $[Si_3O_9]^{6-}$,
- Viererringe $[Si_4O_{12}]^{8-}$,
- Sechserringe $[Si_6O_{18}]^{12-}$.

in situ (lat.: in = in, situs = Lage) – an ursprünglicher Stelle; im Sinne unmittelbar vor dem folgenden Bearbeitungsschritt und bei Wahrung definierter Verhältnisse zwischen den Bearbeitungsschritten.

Integrationstisch (lat.: integrare = ergänzen) – *ein insbesondere am Polarisationsmikroskop aufgesetzter Spezialtisch.* Mit Hilfe der auf dem I. angebrachten Meßskalen lassen sich die verschiedenen Komponenten eines Dünn- oder Anschliffs längenmäßig ausmessen. Anhand der gemessenen Wegstrecken kann die mineralogische Zusammensetzung des Präparats quantitativ erfaßt werden. Diese Methode zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit aus.

Interferenzfarben (lat.: interficere = aufreiben, zunichte machen) – *Mischfarben, die entstehen, wenn einige Wellenlängen des weißen Lichts durch Interferenz ausgelöscht werden.* Das geschieht, wenn der Gangunterschied an der betreffenden Stelle gleich ½, 3/2, 5/2 usw. beträgt. Die verbleibenden Wellenlängen bilden die I. Da I. vom Gangunterschied abhängen, können sie zur Dickenmessung dünner Schichten herangezogen werden.

intrinsisch (lat.: intrinsecus = innerlich) – *Eigenschaften von Halbleitern, bei denen die Eigenleitung dominiert,* hervorgerufen durch die gleiche Anzahl Elektronen und Defektelektronen (sog. Paarbildung).

Gegensatz: extrinsisch*.

[377]

Inversion (lat.: invertere = umkehren)

Kristallographie: Spiegelung an einem Symmetriezentrum

Halbleitertechnik: Umkehr des Leitfähigkeitstyps – von *n*- zu *p*-Leitung und umgekehrt

s. Spinell, Ferrite

Ionenaustausch (griech.: ienai = wandern) – *selektives Abtrennen von Ionen aus Lösungen bzw. Suspensionen (allg.).* Der diadoche* Ersatz von höherwertigen Kationen in Schichtsilicaten* (z. B. Si^{4+} durch Al^{3+}; Al^{3+} durch Mg^{2+} u.a.) führt zu negativen Überschußladungen, die von nur locker gebundenen Kationen an den Kristalloberflächen (insbesondere an Tetraederbasisflächen) und bei einigen Schichtsilicaten auch zwischen den Schichtpaketen kompensiert werden. In wäßrigen Aufschlämmungen dissoziieren diese Kationen von den Oberflächen ab und umgeben sich meist mit einer durch Dipolkräfte koordinativ gebundenen Hydrathülle. Da die hydratisierten Kationen wegen der negativen Ladung der Kristalle nicht ohne weiteres frei beweglich sind, kommt es zur Ausbildung einer elektrischen Doppelschicht* um den Kristall. Die Menge und die Art der abdissoziierten Kationen äußert sich makroskopisch in technisch wichtigen Parametern. So besteht z. B. ein direkter Zusammenhang zwischen der sog. Austauschkapazität und der Bildsamkeit* oder der hohen Trockenbruchfestigkeit alkalihaltiger Tonminerale.

Die Bestimmung der Austauschkapazität erfolgt durch Elektrodialyse, Auslaugung oder durch Behandeln des Ausgangsrohstoffes mit der konzentrierten Lösung eines Salzes des gewünschten Kations, meist mit dem Chlorid, und wächst dann salzfrei gewöhnlich bei *p*H 7. I. wird in mval/100 g Ton bzw. Tonmineral angegeben (1 mval Na^+, ausgedrückt als Na_2O bei einer Molekularmasse von 62 bzw. Verbindungsmasse von 31 beträgt demnach bezogen auf 100 g Ton 0,031 % Na_2O). Die am häufigsten gefundenen Kationen

sind: Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+, K^+, Na^+. Die Schnelligkeit des Kationenaustausches variiert je nach Tonmineralart, Kationenkonzentration und Art der Anionen, allgemein erfolgt der I. bei Kaolinit sehr schnell, bei Montmorillonit und Vermiculit langsam und bei Illit sehr langsam. Die Neigung zum Austausch wird durch die sog. *Hofmeister*-Reihe* beschrieben. Das Kationenaustauschvermögen beträgt z. B. bei

Kaolinit	3 bis 15 mval/100 g
Halloysit	5 bis 10 mval/100 g
Montmorillonit	80 bis 150 mval/100 g
Illit	10 bis 40 mval/100 g
Vermiculit	100 bis 150 mval/100 g,

nach Langzeitmahlung:

Kaolinit	≈120 mval/100 g
Montmorillonit	≈360 mval/100 g
Muskovit	≈115 mval/100 g
Quarz	≈100 mval/100 g.

Die Austauschkapazität wird manchmal auch zur Prognose der Schichtsilicate herangezogen. Die Art des austauschbaren Kations läßt sich oft bereits ungefähr durch eine *p*H-Wert-Bestimmung ermitteln: *p*H 9 = Na^+, *p*H 7,5 = Ca^{++}, *p*H 7 = H^+. Nicht nur Schichtsilicate, alle Minerale extremer Feinheit weisen als Folge aufgebrochener gittermäßiger Bindungen an Ecken und Kanten eine geringe Kationen-Austauschfähigkeit auf.

[8, 16, 17, 39]; Verfahren [21, 38]

s. Doppelschicht, elektrische

Ionenradius (scheinbarer Radius) – *Wirkungssphären der Ionen.* In erster Näherung können die Ionen (und Atome) als Kugeln aufgefaßt werden, die sich gegenseitig berühren. Ihr Abstand gilt dabei als die Summe der Radien zweier sich berührender Ionen. Größenordnungsmäßig liegen die I. etwa im Bereich von 0,02 bis 0,3 nm. Tatsächlich ist der I. einer Ionenart nicht konstant, sondern hängt ab von der Stellung im Periodensystem, von der Koordinationszahl*, vom Gittertyp* und von der Wertigkeit, z. B.

Pb^{4-} = 0,215 nm Pb^{2+} = 0,132 nm
$Pb^{\pm 0}_{(met)}$ = 0,174 nm Pb^{4+} = 0,084 nm.

[8, 64]

Irdenglasur (Töpferglasur) – *Sammelbezeichnung für die etwa zwischen 900 und 1 050 °C glattschmelzenden bleihaltigen bzw. bleifreien Glasuren für einfache Töpferwaren, Ofenkacheln und entsprechende Baumaterialien.* Die ungefähren Zusammensetzungen von I. werden durch die *Seger*formeln wiedergegeben:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}0\ldots0{,}17\ K_2O\\0{,}0\ldots0{,}25\ CaO\\0{,}58\ldots1{,}0\ PbO\end{array}\right\}\ 0{,}1\ldots0{,}3\ Al_2O_3\ \ 1{,}0\ldots2{,}0\ SiO_2$$

bzw.

$$\left.\begin{array}{l}0{,}25\ K_2O\\0{,}15\ Na_2O\\0{,}60\ CaO\end{array}\right\}\ 0{,}40\ Al_2O_3\ \begin{array}{l}3{,}5\ SiO_2\\1{,}0\ B_2O_3\end{array}$$

[100]

Irdengut – Bezeichnung für alle keramischen Erzeugnisse mit erdigem, nicht dichtgesintertem, porösem Scherben, wobei die Brennfarbe eine untergeordnete Rolle spielen kann (Dachziegel, Ofenkacheln, Steingut, Wandfliesen, Dränagerohre u. a.), im Gegensatz zu Erzeugnissen mit dichtem Scherben (z. B. Porzellan).

Irislüster (griech.: iris = Regenbogen) – *s.* Lüster

Isolator

1) Elektrizitätslehre – Dielektrikum, ein elektrisch nichtleitendes Material, das zwischen den Belegungen eines Kondensators dessen Kapazität gegenüber dem Vakuumwert erhöht.

2) Elektrotechnik – Werkstoff, der die Isolation, d. h. den Grad der galvanischen Trennung, von leitfähigen Teilen einer Anlage untereinander oder gegen Erde besorgt.

3) Wärmelehre – Stoff mit sehr geringer Wärmeleitung.

4) Akustik – schalldämmender Stoff.

s. Halbleiter, Hochspannungsisolatoren, Bändermodell

Isoliermittel

1) Trennmittel, das ein Festbrennen von Brenngut auf der Unterlage verhindern soll (Quarzsand, Tonerdehydrat oder Mischungen von Tonerdehydrat, Kaolin, Quarzmehl und Schamottemehl u. a.)

2) Trennmittel, das bei der Herstellung von Gipsformen auf Modell bzw. Modelleinrichtung aufgetragen wird (Schellack*, Mischungen aus gesättigter Lösung von Natronseife und Holz- oder Sonnenblumenöl in Wasser oder Mischungen von Kern- und Schmierseife).

Isoliersteine – *hochporöse Steine zur Wärmedämmung (Hintermauerung) mit einem Porenanteil von 40 bis 75 %.* Im allg. strebt man an, die Porendurchmesser unter 1 mm zu halten. Je nach Anwendungstemperatur kommen in Betracht:

- bis 1100 °C Diatomit-, Vermiculit*- oder Asbestisoliersteine; letztere stellen Mischungen von Asbest mit $MgO/MgCO_3$ dar;
- bis 1200 °C Feuerleichtsteine auf Ton-Schamotte-Basis;
- über 1200 °C Silica-, tonerdereiche, Chromerz- oder Magnesiasteine, Schaumkorundsteine.

s. Fasern, keramische; Leichtbeton

Isomorphie (griech.: isos = gleich, morphe = Gestalt) – *die Erscheinung, daß Kationen bzw. Anionen eines Gitters schrittweise durch andere Kationen bzw. Anionen ersetzt werden, ohne daß eine Änderung des Gittertyps erfolgt.* Voraussetzung ist, daß die absolute Größe und die Polarisationseigenschaften der Bausteine nicht wesentlich voneinander abweichen *(Strunz).*
Beispiel: Gold-Kupfer-Legierungen, Plagioklase* [380]

Isotropie (griech.: isos = gleich, tropos = Richtung) – *Nichtabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften und des Verhaltens von der Richtung im Raum.* I. zeigen insbesondere amorphe Stoffe, Gläser, Gase und Flüssigkeiten (Ausnahme: kristalline Flüssigkeiten). Kubische Kristalle verhalten sich in bezug auf thermische Ausdehnung, Wärmeleitung, elektrische Leitfähigkeit isotrop, bei anderen Eigenschaften nur bedingt isotrop. Gegensatz: Anisotropie
[380]

Isotypie (griech.: isos = gleich, typos = Gepräge) – *Erscheinung, daß verschiedene Stoffe den gleichen Kristallbautyp, d. h. die gleiche geometrische Anordnung der Bausteine, aufweisen.* I. ist nur möglich, wenn diese Verbindungen derselben Raumgruppe angehören, eine Analogie in der chemischen Summenformel aufweisen und ihre relativen Dimensionen nicht zu stark voneinander abweichen, während der chemische Bindungscharakter verschieden sein kann, z. B. Steinsalz NaCl – Bleiglanz PbS – Periklas MgO. [64, 129, 380]

Jesuitenporzellan – aus der Quianlong-Periode (1636 bis 1795) der Quing-Zeit (1644 bis 1911) stammendes chinesisches Exportporzellan unter europäischem Einfluß, das mit christlichen Motiven bemalt wurde und den Stil europäischer Kupferstiche nachahmte.

Junyao – chinesisches Steinzeug der Sung-Zeit aus Honan mit mehrfarbigen Glasuren.

Juwelenporzellan – *Bezeichnung für in Sèvres seit 1770 hergestelltes Porzellan,* dessen Dekor Juwelenbesatz nachahmt. Auf meist königsblauem oder türkisfarbenem Fond wurden aufgeschmolzene, getriebene oder ziselierte Goldbleche mit opaken Emails bemalt. Vorgänger des J. war das mit Türkisen und Granaten* verzierte *Böttger*-Steinzeug*.

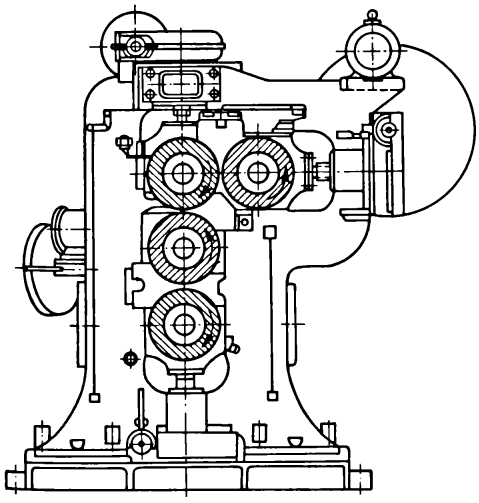
K

Kachel – *vorwiegend für Zimmeröfen und Herde verwendete, meist glasierte Platte aus gebranntem Ton, bei der sich auf der Rückseite des sog. Blattes ein angarnierter oder aufgepreßter Befestigungsring (Rumpf) von 4 bis 5 cm Höhe befindet.* Die Aufbereitung der Masse erfolgt im Naß- und Trockenverfahren, die Formgebung meist durch Pressen. Nach dem Trocknen bis auf 4 bis 5% Feuchte wird der Schrühbrand (Glühbrand) bei 900 bis 950 °C durchgeführt. In einem zweiten Brand wird bei 900 bis 1000 °C die Glasur aufgeschmolzen. Gebrannt wird in Muffel- oder Tunnelöfen. *Schmelzkacheln* enthalten frühschmelzende kalk- und eisenhaltige Tone und sind mit einer weißdeckenden, meist gefritteten Zinnglasur überzogen. Bei den sog. *Glättekacheln* kommen 10 bis 20% Schamottemehl zwecks Magerung hinzu. Als Glasuren werden hier nicht völlig deckende, zinnarme oder zinnfreie Bleiglasuren von grüner oder brauner Farbe verwendet. Die wesentlich feuerfesteren *Schamottekacheln* mit ihrem kalkarmen, porösen, meist gelblichen Scherben enthalten gemahlene Schamotte und werden mit weißer Behautmasse sowie meist farbiger durchsichtiger oder undurchsichtiger Glasur (ZrO_2, $ZrSiO_4$) überzogen. Die starke Magerung bewirkt, daß die K. auch bei starker Erwärmung und Abkühlung nicht reißt.
Ofenkacheln gibt es in Deutschland schon seit dem 10. Jh., die heute gebräuchlichen Formen kamen im 15. Jh. auf.
s. Berliner K., Meissener K.

Kaendler, Johann Joachim (1706 bis 1775) – *Bildhauer und Porzellanmodelleur.* Durch August den Starken wurde K. 1731 an die Meisse-

ner Porzellanmanufaktur berufen. Er versuchte, die technische Beherrschung des Werkstoffes Porzellan zu verbessern und neue Ausdrucksmöglichkeiten zu finden, und wurde so zum bedeutendsten Figurenbildner und Begründer der Meissener Porzellan- und neueren Tierplastik. In der ersten Etappe seines Schaffens (1731 bis 1741) entstanden zahlreiche Tiergroßplastiken, Bildnisbüsten und Standbilder lebender Persönlichkeiten sowie religiöse Plastiken und berühmte Tafelgeschirre (Schwanenservice). In der zweiten Schaffensperiode (1742 bis 1763) widmete sich K. v. a. der figürlichen Kleinplastik (Figuren der italienischen Komödie, Volkstypen fremder Länder, Szenen aus dem höfischen Leben, Handwerker u. a.).
K. begründete zusammen mit *Höroldt** die Meissener Porzellankunst.

Kalandrieren – *verarbeitungstechnischer Prozeßschritt, bei dem ein zusammenhängendes zu formendes Gut (bildsame Masse) durch einen aus rotierenden Walzen gebildeten Spalt gepreßt wird* (s. Bild).



Vierwalzenkalander

Ziel des K. ist es, Flachformgüter (z. B. Folien, Substrate*) herzustellen bzw. bereits gegossene nachzuverdichten. Die Walzen können beheizt werden und sich im Gleich- oder Gegenlauf mit gleicher oder unterschiedlicher Geschwindigkeit drehen. Für das Ergebnis des Prozesses entscheidend ist die Kenntnis der Druck- und Geschwindigkeitsverteilung im zu verarbeitenden Gut in Abhängigkeit von dessen rheologischen oder thermodynamischen Stoffeigenschaften.
[390]

Kalibrieren
1) Umformen (Walzen, Schleifen) vorgeformter Profile (Platten, Steine) auf ein bestimmtes Endmaß
2) Einengen des Körnungsbandes von Zerkleinerungsmaschinen (z. B. Hammerbrecher) mit Hilfe von Rosten (sog. Kalibrierrosten). Sie umschließen den Arbeitsraum der Zerkleinerungswerkzeuge und halten Überkornanteile zurück.
[168, 330]

Kalifeldspat ($KAlSi_3O_8$)
Physikalische Eigenschaften: farblos und undurchsichtig; $D = 2{,}54$ bis $2{,}57\ g\ cm^{-3}$; $H = 6$
K. kommt in zwei monoklinen Modifikationen vor: *Sanidin* (oberhalb 900 °C beständig) und *Orthoklas* (unterhalb 900 °C stabil). Außerdem gibt es noch eine trikline Modifikation: *Mikroklin* (steht den monoklinen sehr nahe). Die Modifikationen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer optischen Daten:

Orthoklas: $n_\alpha = 1{,}519$, $n_\beta = 1{,}523$, $n_\gamma = 1{,}525$, $\Delta n = -0{,}006$, $2V = 62°$

Sanidin: $n_\alpha = 1{,}517$, $n_\beta = n_\gamma = 1{,}523$, $\Delta n = -0{,}006$, $2V = 0$ bis $20°$

Mikroklin: $n_\alpha = 1{,}518$, $n_\beta = 1{,}522$, $n_\gamma = 1{,}525$, $\Delta n = -0{,}007$, $2V \approx 83°$.

(Meist bilden diese Typen Verwachsungen mit Albit $NaAlSi_3O_8$.) K. führt der Masse Alkali in wasserunlöslicher Form zu, beginnt etwa ab 1150 °C inkongruent zu schmelzen und hat ein breites Schmelzintervall (sog. *langes Glas*).

Kalisalpeter (KNO_3) – in Wasser leicht lösliche Verbindung. $D = 2{,}1\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 340$ °C. K. ist ein starkes Fluß-, Oxydations- bzw. Reinigungsmittel, das eingefrittet z.B. in bleihaltigen Glasuren verwendet wird.

Kalk – *gebräuchliche Sammelbezeichnung für einige Calciumverbindungen.* In der Keramik finden Verwendung:
- $Ca(OH)_2$ (Löschkalk, Weißkalk, Kalkhydrat) als Luftbinder (Mörtel als Zusatz zu Silicamassen),
- $CaCO_3$ (Kalkstein, s. auch Calcit).

Letzterer kommt in stückiger oder feinverteilter Form in vielen Rohstoffen vor.

In geringen Prozentsätzen und fein verteilt ist K. in Kachel- oder Klinkermassen enthalten. In stükkiger Form wirkt er in jedem Falle schädlich. Eine sehr feinkörnige Form des Kalksteines, die besonders in den Küstengebieten der Nord- und Ostsee abgebaut und zur Herstellung von Schlämmkreide verwendet wird, bezeichnet man als Kreidekalk. Er dient als Rohstoff für Glasuren und Steingutmassen.

Kalksandsteine – *Mauersteine, die aus Branntkalk und überwiegend quarzitischen Zuschlagstoffen etwa im Verhältnis 1:13 nach intensiver Mischung geformt und unter Dampfdruck gehärtet werden.* Die Formgebung erfolgt meist auf Drehtischpressen. Zur Erzielung bestimmter Effekte werden noch gelegentlich Farbstoffe u. a. zugesetzt.

Physikalische Eigenschaften: $D = 1{,}0$ bis $2{,}0$ kg dm^{-3}; $\sigma_{dB} = 5$ bis 25 MPa

Nach der Form werden unterschieden:

- *Vollsteine* (KSV), die allseitig geschlossen sind; bei $1\frac{1}{2}$ NF auch mit durchgehenden Grifföffnungen;
- *Lochsteine* (KSL), fünfseitig geschlossen und mit Hohlraum senkrecht zur Lagerfläche;
- *Hohlblocksteine* (KSHbl), großformatige fünfseitige geschlossene Steine mit Mörteltaschen und Hohlräumen senkrecht zur Lagerfläche.

[157]

Kalksteingut – *s.* Steingut

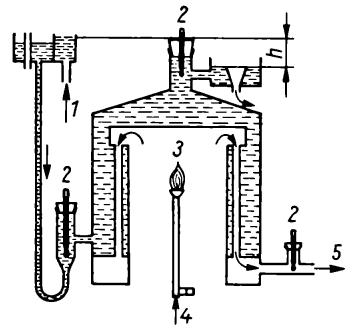
Kalktreiben – *Zerbröckeln (Zertreiben) von Ziegelsteinen, die gröbere Anteile (> 1 mm) von gebranntem Kalk enthalten.* Im allgemeinen reichen Brennhöhe und -dauer von Ziegelsteinen nicht aus, das aus der thermischen Dissoziation des Kalkes entstandene Calciumoxid silicatisch zu binden, so daß es in der Folgezeit ablöscht und im Laufe der Zeit wieder carbonisiert. Diese Vorgänge sind mit einer Volumenzunahme verbunden.

Durch ein fünfstündiges Kochen der Probekörper läßt sich eine etwaige Neigung zum K. feststellen.

Kalorimeter (lat.: calor = Wärme) – *Gerät zur Bestimmung des Heizwertes von Brennstoffen.*

1) Der Heizwert von festen Brennstoffen wird in der sog. kalorimetrischen Bombe gemessen. Diese besteht aus einem doppelwandigen Gefäß, in dessen Mantel sich eine Flüssigkeit mit bekannter spezifischer Wärmekapazität befindet. In das Innere dieses Gefäßes wird der zu messende Brennstoff gegeben, dem über eine Düse Sauerstoff zugeführt wird. Die Verbrennung wird durch elektrische Zündung eingeleitet. Die Temperaturerhöhung der Flüssigkeit ist dann das Maß für den Heizwert des Brennstoffes.

2) Der Heizwert von gasförmigen Brennstoffen kann mit dem *Junkers*-K. (s. Bild) gemessen werden.



Junkers-Kalorimeter
1 Wasser
2 Thermometer
3 Gasflamme
4 Gas
5 Rauchgas

Die Verbrennungsprodukte von Gasen bekannter Menge und Temperatur werden über eine Kühlanordnung geleitet, bis sie fast auf die Temperatur des zufließenden Wassers abgekühlt sind. Die Erwärmung des Kühlwassers ist der Verbrennungswärme des Gases proportional.

3) Nach Veränderung der Brennstoffzuführung kann mit dem *Junkers*-K. auch der Heizwert flüssiger Brennstoffe bestimmt werden.

Ein Kriterium für die Güte eines K. ist die Minimierung des Wärmeaustauschs mit der Umgebung. Praktisch unabhängig von der Umgebung ist z. B. das Differential- bzw. Zwillings-K., welches aus zwei gleichen, aber getrennt angeordneten K. besteht. In dem einen wird der zu untersuchende Stoff verbrannt, dem anderen wird die gleiche Wärmeenergie mit Hilfe elektrischer Energie zugeführt, sie gilt dann als Maß für den Heizwert.

[419]

Kaltdruckfestigkeit *(KDF)* – *s.* Druckfestigkeit

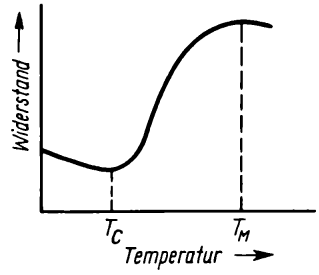
Kaltleiter (PTC-Thermistoren, Positoren) – *halbleitende Keramikwiderstände mit einem großen positiven Temperaturkoeffizient in der Nähe der Curie-Temperatur**. Der wichtigste Vertreter dieser Widerstandsgruppe ist das polykristalline Ferroelektrikum* $BaTiO_3$ mit einer *Curie*-Temperatur

von 120 °C. $BaTiO_3$ besitzt ein Perowskitgitter* und kristallisiert oberhalb der *Curie*-Temperatur kubisch, unterhalb ist es tetragonal (bzw. bei tiefen Temperaturen orthorhombisch) verzerrt. Durch Zusätze von PbO kann die *Curie*-Temperatur angehoben und durch Zusätze von SrO gesenkt werden, so daß eine Einstellung der *Curie*-Temperatur im Temperaturbereich −100 bis 350 °C möglich ist. Im stöchiometrischen Verhältnis ist $BaTiO_3$ ein Isolator/Dielektrikum*.

Wird $BaTiO_3$ mit etwa 0,1 bis 0,3 Atom-% La, Sb, Nb oder Ta dotiert, steigt in der Nähe der *Curie*-Temperatur der Widerstand um 1 bis 5 Zehnerpotenzen an. Für technische Anwendungen ist es üblich, anstelle der *Curie*-Temperatur die sog. *Bezugstemperatur* zu verwenden. (Der Unterschied zwischen beiden Temperaturen ist gering.) Die Bezugstemperatur ist definiert als die Temperatur, bei der der PTC-Widerstand auf den doppelten Wert des ursprünglichen unterhalb der *Curie*-Temperatur angestiegen ist. Der dabei ablaufende Leitungsmechanismus wird über Valenzwechsel erzwungen, z. B.

- durch Substitution von Ti^{4+} durch ein fünfwertiges Ion:
  $Ba^{2+}Ti^{4+}O_3^{2-} + xTa - xTi$
  $\rightarrow Ba^{2+}Ta_x^{5+}Ti_x^{3+}Ti_{1-2x}^{4+}O_3^{2-}$ oder
- durch Sintern in reduzierender Atmosphäre:
  $Ba^{2+}Ti^{4+}O_3^{2-} - xO \rightarrow Ba^{2+}Ti_{1-2x}^{4+}Ti_{2x}^{3+}O_{3-x}^{2-}$.

Die Ursachen für die sprunghaften Widerstandsänderungen oberhalb der *Curie*-Temperatur sind Potentialbarrieren an den Korngrenzen der polykristallinen Keramik. Die Potentialbarrieren an den Korngrenzen werden durch negativ geladene Randschichten aufgebaut, die ihrerseits durch Bariumleerstellen (sog. Oberflächenzustände) hervorgerufen werden. Die Ba-Leerstellen entstehen während des Sinter- und Abkühlprozesses in der Keramik, d.h., das Sinterprodukt besteht aus einer Matrix von halbleitenden $BaTiO_3$-Körnern und isolierenden Randschichten. Dieser hochohmige Zustand ist aber nur oberhalb der *Curie*-Temperatur T_C möglich, weil sich unterhalb das $BaTiO_3$ im ferroelektrischen Zustand befindet und die in diesem Zustand vorhandene Polarisation die negativen Ladungen der Randschichten kompensiert, d. h., der Werkstoff verhält sich dann ähnlich wie ein Heißleiter*; das gleiche gilt für Temperaturen oberhalb T_M (Maximum des Widerstandes; s. Bild).



Widerstand eines Kaltleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

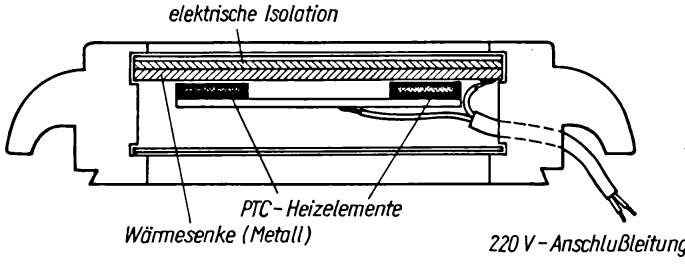
Durch Variation der *Curie*-Temperaturen, der Dotierungen und der Sinterregime lassen sich verschiedene Kaltleiter-Charakteristiken erzeugen. K. werden als Temperaturmeßfühler, -regler, -wächter, Verzögerungsglieder, Leistungs- und Stromstabilisatoren eingesetzt.

Siehe als Applikationsbeispiel auch das Bild Warmhalteplatte mit PTC-Heizung.

[133, 371]

Kalttechnologie – *Sammelbezeichnung für Arbeitsgänge*, die zwischen dem Glüh- und Glattbrand liegen (Glasieren*, Einkapseln und Setzen der Ware auf die Wagen), und für Arbeitsgänge nach dem Brande (Kapseltrennen, Sortieren, Fehler schleifen).

Kaltverfestigung – Abbinden oder Erhärten von Massen, Mörtel oder ungebrannten Steinen



Warmhalteplatte mit PTC-Heizung (Schnittdarstellung, schematisch)

mit Hilfe chemischer oder hydraulisch abbindender Zusätze ohne nennenswerte Wärmezufuhr.

Kammerofen – *diskontinuierlich arbeitender keramischer Brennofen von meist rechteckigem Grundriß zum Brennen von Verblendern, Dachziegeln, Platten, Klinkern, Steinzeugwaren, Schamotte, Silicasteinen, Elektroporzellan u. a.* Kleine K. für Temperaturbereiche bis zu 1350 °C werden elektrisch beheizt, große mit festen Brennstoffen oder Gas. An der Längsseite befinden sich die Feuerungen. Feuerbrücken schützen das Brenngut vor direkter Feuereinwirkung und lenken die Rauchgase so, daß diese gegen das Gewölbe strömen, dort umkehren und unten durch die Sohlekanäle den Brennraum verlassen. Durch den Hauptsammelkanal gelangen sie in den Schornstein. Hochtemperatur-K. (für Temperaturen bis zu 1850 °C) sind mit Wirbelstrombrennern* und zur Luftvorwärmung unter dem Ofenraum mit einem Rekuperator* ausgerüstet. Sie werden zum Sintern oxidkeramischer Formlinge verwendet.

Kammerringofen – *s.* Gaskammerringofen

Kanalisationssteinzeugrohre – *wasserdichte, gebrannte Rohre aus bildsamen feuerfesten oder Steinzeugtonen mit rundem, elliptischem oder eiförmigem Querschnitt.* Die Nennweiten und Baulängen reichen jeweils bis 2000 mm. Die Rohre sind innen und außen (oder nur innen) mit Salz- oder Lehmglasuren* versehen. Die Masse wird in Naß- und vorwiegend Trockenverfahren aufbereitet. Zur Magerung dienen feingemahlene Schamotte (bis max. 2 mm Körnung) und feiner Quarzsand. Die Formgebung geschieht meist auf vertikalen Strang-Pressen unter Vakuum. Nach sorgfältiger Trocknung wird in Gaskammerring- oder Tunnelöfen gebrannt. Die Güteanforderungen bei K. beziehen sich auf äußere Beschaffenheit, Scheiteldrucklast, Innendruckfestigkeit, Wasserdichtheit, Chemikalienbeständigkeit.

K. haben an einem Ende Muffen ausgebildet, am anderen Ende (auch Spitzende genannt) ist eine Rille angebracht. [157]

Kanalsteine – *ff. Hohlsteine auf der Basis von Schamotte zur Leitung des flüssigen Stahls (Temperatur ≈ 1600 °C) in die Formen.* Wegen der hohen Durchflußgeschwindigkeit ($\approx 1\ m\ s^{-1}$) und der hohen Turbulenz der Schmelzen sind die K. starken korrosiven Angriffen und bei Einlaufen des Stahls einem starken Temperaturschock ausgesetzt, der sich bald einem stationären Zustand nähert. Dabei erweicht die Innenwand bis zu einer Tiefe von etwa 1 mm, und bis zu einer Tiefe von etwa 5 mm tritt Versinterung ein. Unberuhigte Stähle mit MnO, FeO bedingen Substanzverluste am K. von etwa 100 bis 400 g je t Stahl und Meter Kanallänge. Geformt werden K. meist auf horizontal arbeitenden Pressen.

Kante – Bezeichnung für ringförmig aufgelegte Schiebebilder oder für ein durch Stempelrolle erzeugtes umlaufendes Dekor, meist auf Tellerfahnen.

Kanthal – *eine Heizleiterlegierung schwedischer Herkunft.* Der als K. bezeichnete Fe-Cr-Al-Co-Stahl mit max. Benutzungstemperaturen von 1150 bis 1375 °C und bemerkenswerter Zunderbeständigkeit weist folgende Kennziffern auf:

$\varrho_{20} = 1{,}35$ bis $1{,}45\ \Omega\ mm^2\ m^{-1}$; Längenausdehnungskoeffizient (20 bis 1000 °C) $= 15 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; $D = 7{,}1$ bis $7{,}25\ g\ cm^{-3}$; $\lambda = 16{,}75\ W(m\ K)^{-1}$; $c = 460{,}5\ J(kg\ K)^{-1}$; $T_S = 1510\ °C$; $\sigma_Z = 650$ bis 860 MPa; Streckgrenze = 450 bis 650 MPa; Bruchdehnung auf 200 mm Meßlänge 12 bis 20 %; *Brinell*härte 200 bis 260.

Eine herabgesetzte Lebensdauer ergibt sich durch reduzierende schwefelhaltige Gase, durch alle Halogene, durch Stadtgas, Propan, evtl. durch Wasserdampf. Schädlich sind die Salze der Alkalimetalle, Nitrate, Silicate, Borverbindungen, Oxide von Kupfer, Blei und Eisen.

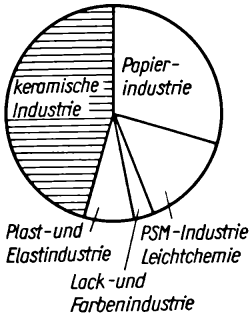
Verwendung: Eisen-, Stahl-, Metallindustrie, in der chemischen, keramischen, Glasindustrie u. a.

Kaolin – *Residualgestein, das durch Verwitterung bzw. Umwandlung von Granit, Porphyr, Feldspat und Feldspatsanden entstanden ist und vorwiegend Minerale der Kaolingruppe* (einschl. Halloysit*) enthält.* In den feinsten Kornfraktionen finden sich noch Wechsellagerungsminerale* und gelegentlich auch quellfähige Minerale.

Die technologisch nicht aufbereiteten Materialien, die noch am Ort ihrer Entstehung lagern, werden als *Rohkaolin**, die durch Sieb- und Schlämmprozesse gewonnenen als *Feinkaolin** bezeichnet. Die Abgrenzung der Rohkaoline gegenüber Tonen* ist nicht immer eindeutig, da es in der Natur auch K. gibt, die ausgeschlämmt und umgelagert worden sind, ohne daß die Struktur der Kaolinminerale wesentlich verändert wurde; diese Rohstoffe werden dann als *Kaolinittone* bezeichnet. Umgekehrt gibt es Zersetzungsprodukte, die nicht umgelagert wurden, bei denen jedoch die Kaolinitgruppe ge-

genüber Glimmer und Quarz völlig zurücktritt und die deshalb nicht als K. angesprochen werden können.

K. werden in den verschiedensten Industriezweigen eingesetzt (s. Bild), die bestimmte Konsequen-



Kaolin

zen bezüglich stofflicher Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Mineralbestand u. a. bedingen. Ausführliche Informationen über Eigenschaften u. a. sind in den sog. *Rohstoffkennblättern** zusammengestellt. Für die Angabe des Mineralbestandes bedient man sich Kurzformen nach dem Nomenklatursystem* für Tone.

Von K., die in der Keramik eingesetzt werden, wird u. a. gefordert:

- weiße Brennfarbe bei etwa 1400 °C; allgemein wird die Brennfarbe von den Schwermetallgehalten – besonders Fe und Ti – beeinflußt, jedoch kann nicht unbedingt von Brennproben eines K. auf das Ergebnis in der Porzellanmasse geschlossen werden, denn entscheidend ist, ob die Fe- und Ti-Oxide als eigene Mineralien vor liegen oder in das Gitter des K. eingebaut sind.
- hohe Bildsamkeit*; sie wird durch verschiedene Faktoren beeinflußt, wobei die Wechsellagerungsminerale mit quellfähigen Komponenten wesentlichen Einfluß zu haben scheinen;
- hohe Trockenbiegefestigkeit*; hier lassen sich eindeutige Beziehungen zu Mineralbestand und Packungsdichte ableiten.

Verflüssigungseigenschaften dagegen sind nur bedingt eine rohstoffspezifische Eigenschaft, weit mehr eine Eigenschaft des Gesamtsystems Kaolin – Kationenbelegung – Wasser – Verflüssigungsmittel*. [8, 44 bis 47, 53]

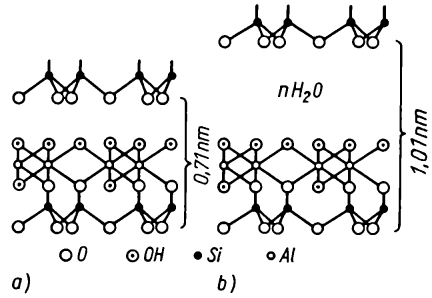
Kaolinitgruppe – *Gruppe von Schichtsilicaten*, die vor allem in Kaolinen* und Tonen* vorkommen.*

1) Kaolinit $Al_2[(OH)_4/Si_2O_5]$

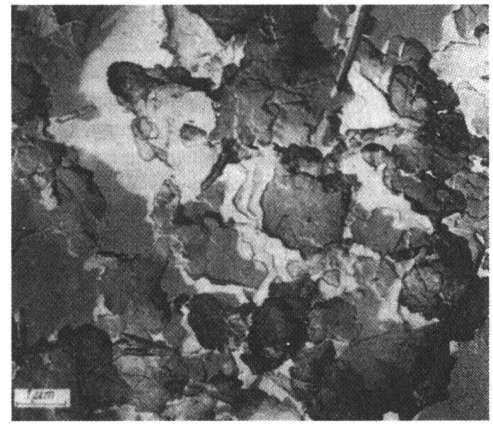
Chemische Zusammensetzung: 39,5 % Al_2O_3, 46,5 % SiO_2, 14 % H_2O, Verunreinigungen, wie Ti, Fe^{3+}, Mg, Ca, Na, K, Ba

Kristallographie: triklin oder monoklin, je nach Richtung und Betrag der Schichtversetzung und Verteilung der unbesetzten Oktaederplätze in der Schicht; K. ist ein Zweischichtsilicat, bestehend aus einer $Al(OH,O)_6$-Oktaederschicht (sog. Hydrargillitschicht) und einer SiO_4-Tetraederschicht. Beim Zusammenballen von Kaolinitkristallen wirken zwischen den Zweischichtpaketen nur *van-der-Waals*sche Bindungskräfte, daher die gute Spaltbarkeit (Kristallgröße 0,5 bis 10 µm). Gut ausgebildete Kristalle sind selten, Austauschkapazität in mval/100 g – Kationen 3 bis 15, Anionen 7 bis 20 (s. Bilder).

Physikalische Eigenschaften: einzelne Plättchen farblos, dichte Massen weiß, gelegentlich mit gelb-



Struktur von Zweischichtmineralen (schematisch)
a) Kaolinit
b) Hydrohalloysit



Elmi-Aufnahme Wolfka-Kaolin, 14000:1 Übersicht; erkenntlich sind Kaolinitkristalle mit hexagonalem Umriß

lich-grünlich-bräunlicher Tönung; spezifische Oberfläche 2 bis 40 $m^2 g^{-1}$; n_{xyz} = 1,566, 1,561, 1,560; $H \approx 1$; D = 2,58 bis 2,60 g cm^{-3}

Diagnose: trocken zwischen den Fingern zerreibbar, leicht Wasser absorbierend, unter dem Mikroskop an Form und *o.D.* erkennbar, genaue Bestimmung mit Röntgenanalyse* und DTA*, in warmer H_2SO_4 leicht zersetzbar, HCl und HNO_3 wenig wirksam

Genese: Verwitterungsprodukt magmatischer Gesteine, die reich an Alumosilicaten* sind. Die Kaolinitbildung erfolgt bevorzugt in humidem Klima und CO_2-haltigem Wasser. Die bei höheren Temperaturen ablaufende Regionalmetamorphose überführt kaolinitische Sedimente in Tonschiefer*.

2) Dickit $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$

polymorphe Form des Kaolinits, monoklin, Kristallgröße bis 1000 µm

3) Nakrit $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$

polymorphe Form des Kaolinits, monoklin, grobschuppig; n_{zyx} = 1,536, 1,562, 1,557; H = 7; D = 2,627 g cm^{-3}; endogene Bildung, Vorkommen in hydrothermalen Klüften als sog. Steinmark auf Zinn- und Fluoritlagerstätten

4) Fireclay

in der a-b-Ebene fehlgeordneter Kaolinit, Kristallgröße <0,5µm

5) Halloysit*

Austauschkapazität in mval/100 g – 10 bis 20

6) Donbassit $Al_4[(OH)_8/AlSi_3O_{10}]$

möglicher Einbau weiterer Kationen durch Si-Al-Substitution

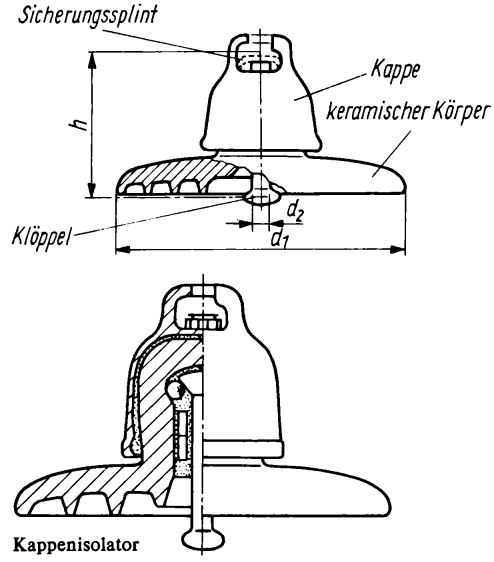
[8, 9, 46, 173]

Kapillarität (lat.: capillus = Haar) – *bestimmte Erscheinungen in dispersen Fest-Flüssig-Systemen, die ihre Ursache in der Grenzflächenspannung* an den Phasengrenzen haben.* Im weiteren Sinne zählen zur K. alle durch Grenzflächenspannung bewirkten Effekte, wie das Ansteigen des Wassers zwischen zwei parallelen Platten, die Zunahme des Dampfdruckes mit Abnahme des Radius bei kleinen Tröpfchen (*Thomson*sche Beziehung) u.a., im engeren Sinne die Erscheinung, daß eine Flüssigkeit in einem Haarröhrchen, der Kapillare, höher oder tiefer steht als in dem größeren Gefäß, in welches die Kapillare eintaucht. Das Ansteigen in einer Kapillare (z.B. Wasser in Glas) wird als Kapillaraszension, das Absinken (z.B. Quecksilber in Glas) als Kapillardepression bezeichnet. Das unterschiedliche Verhalten hat seinen Grund in der unterschiedlichen Benetzung* der Kapillarwände.

Ähnliches Verhalten zeigen Flüssigkeiten an Poren; man spricht in diesem Zusammenhang von kapillarer Steighöhe. Das Ansteigen einer Flüssigkeit ist abhängig von der Differenz der freien Grenzflächenenergie und der Feinheit der Poren. Bei großer kapillarer Steighöhe wird ein poröser Körper nur schwer angefeuchtet.

Bei Packungen/Schüttungen, deren Porenvolumen nur teilweise mit benetzender Flüssigkeit gefüllt ist, sammelt sich an den Berührungsstellen der Partikelchen eine Zwickelflüssigkeit an. Die Flüssigkeits-Gas-Grenzfläche dieser Berührungsstellen weist eine Spannung auf, die die Teilchen zusammenhält; dieser Effekt spielt z.B. eine Rolle bei der bildsamen Formgebung und bei der sog. nassen Sinterung*. Das Festsitzen von Flüssigkeiten hat andererseits auch Einfluß auf bestimmte Reaktionen, z.B. beim Trocknen*. Bei sehr feinen Poren mit lichten Weiten unter 0,1 µm sind die Krümmungsradien der Flüssigkeitsoberflächen so klein, daß molekularer Stofftransport sehr erschwert wird. [15, 39]

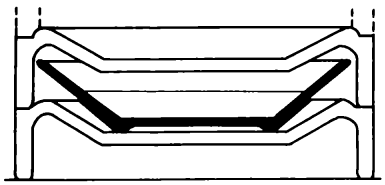
Kappenisolator – *durchschlagbarer Hängeisolator,* bei dem die Zugbeanspruchung durch die Last des Leitungsseiles mittels einer entsprechenden Konstruktion in Druckbeanspruchung des Porzellankörpers umgewandelt wird (s. Bild). Zu einem



Kappenisolator

K. gehören: ein glasierter Porzellankörper, eine aufgekittete Metallkappe, ein eingekitteter Klöppel und ein Sicherungssplint. Wegen ihrer unzureichenden Durch- und Überschlagfestigkeit müssen z. B. für 110 kV etwa 6 bis 8 K. zu einer Kette vereinigt werden. Auf Grund der relativ großen Reihenkapazität der K. ist die Spannungsverteilung gleichmäßig über die ganze Kette ausgedehnt.

Kapsel – *Bezeichnung für runde, eckige, ovale, flache oder hohe Hohlkörper aus ff. Material* (Schamotte, SiC, Cordierit u. a.), die zur Aufnahme von Brenngut dienen, um dieses vor Anflug, direkter Einwirkung von Rauchgasen oder evtl. Stichflammen zu schützen und um es im Ofen besser stapeln zu können. Zum raumsparenden Brennen von Flachgeschirr wurde die Sparkapsel entwickelt (s. Bild). Es gibt auch K. mit durchbrochenen



Teller in Sparkapsel

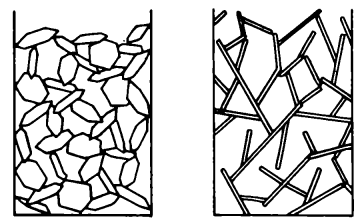
Wänden. In die Löcher kommen Stifte, auf denen das Brenngut sitzt (Töpferofen). Die K. werden durch Drehen oder Pressen hergestellt und vor der erstmaligen Verwendung hochgebrannt, Kapseln minderer Qualität werden nur verglüht. Anforderungen: gute mechanische Festigkeit, genügende Feuerfestigkeit, geringe Schwindung, große Temperaturwechselbeständigkeit, keine schmelzenden Bestandteile, große Umschlagzahl, glatte Wandungen.

Kapselkitt (umgangssprachlich: Kapselschmiere) – ein Gemisch aus Tonerde und Kaolin, evtl. mit Zusätzen von Wasserglas, feinzerkleinertem Porzellanbruch oder Schamotte u. a. zum Ausstreichen der Kapseln, um Oberflächenkörnchen zu binden (und dadurch ein »Streuen«, d. h. Abspringen dieser Körnchen, und somit Befall des Brenngutes zu verhindern), evtl. Risse zu verschmieren und ein Ankleben der Kapselränder zu vermeiden.

Karat (Kurzzeichen k) – 1 k = 0,2 g; *inkohärente Einheit der Masse, die im Handel mit Edelsteinen und Perlen gebräuchlich ist.*

Vermutlich geht dieser Begriff auf das griechische Wort keration = Johannisbrotbaum zurück, dessen Samenkorn zum Auswiegen von Edelsteinen diente. Der Begriff Karat-Masse ist nicht identisch mit dem als Qualitätsmaß von Goldlegierungen anzutreffenden Begriff Karatzahl; letztere gibt an, wieviel Vierundzwanzigstel reinen Goldes in einer Legierungsmasse enthalten sind. Eine Karatzahl 8 besagt z. B., daß 333 Teile Gold und als Ergänzung auf 1 000 Silber, Kupfer oder andere Metalle zulegiert wurden, bzw. Karatzahl 14 entsprechend 585 Teile Gold von 1 000 in der Legierung enthalten sind.

Kartenhausstruktur – *beim thixotropen Erstarren von stark anisometrischen Partikeln (z. B. plättchenförmige Tonminerale) sich aufbauendes Gerüst, das durch Flächen-Kanten (Ecken-)-Bindung zustande kommt.* Nach *U. Hofmann* bilden sich K. vornehmlich in Tonmineralsuspensionen aus, wenn zweiwertige Kationen (z. B. Ca^{++}) in jeweils eine negative Ladung von zwei Tonmineralen einrasten. Die Bindungen in einer K. sind schwach; sie können durch mechanische Beanspruchung (Rühren) gelöst werden. Der Anlaßwert (Fließgrenze*) kann als Maß für die Stärke der Bindung in einer K. gewertet werden (s. Bild). [17, 39]



a) *b)*

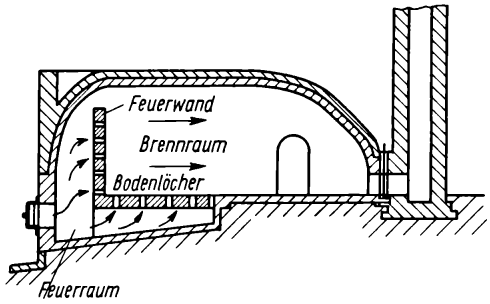
Strukturen thixotrop versteifter Suspensionen
a) plättchenförmige Teilchen
b) leistenförmige Teilchen (»Kartenhausstruktur«)

Kartusche (griech.: kartos = Oberherrschaft) – *eine innerhalb einer zusammenhängenden Dekoration ausgesparte Fläche* – meist in Form eines Medaillons – die zur Aufnahme von Wappen, Initialen oder eines Gemäldes bestimmt ist.

Kasseler Braun – *als erdiges braunes Pulver vorkommendes Verwesungsprodukt des Holzes,* das in verschiedenen Torf- und Braunkohlenlagerstätten gefunden wird. Es besteht in der Hauptsache aus

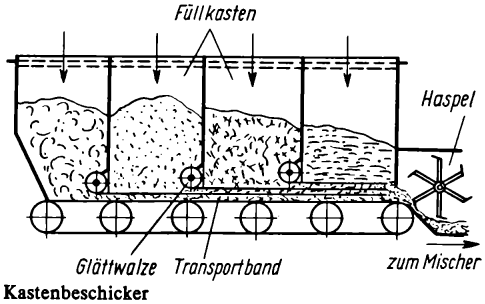
Huminsäuren und wirkt als Schutzkolloid bei der Tonverflüssigung.

Kasseler Ofen – *bekanntester Töpferofen und Ofen für das Brennen von Mauer- und Dachziegeln, Kacheln u. dgl.* Der heute nur noch selten verwendete Ofen (s. Bild) besteht aus einem langgestreckten Baukörper, an dessen einer Stirnseite die Feuerungen und an der anderen der Fuchskanal (zum Schornstein) angebracht sind. An den Längsseiten befinden sich die Öffnungen für das Ein- und Ausfahren des Brenngutes. Im Prinzip ist es ein Ofen mit waagerecht streichender Flamme, wobei die Flammengase erst auf einen Feuerständer treffen, dort verteilt und von Flugasche befreit werden.



Kasseler Ofen für Töpferware

Kastenbeschicker – *ein nach vorn schwach konisch zulaufender Füllkasten, dessen Boden von einem Stahlschuppen- oder Gummiband gebildet wird.* Letzteres befördert das kleinstückige, lockere Material (Sand, Schamotte, scholliger Ton) mit einstellbarer Geschwindigkeit zur Austrittsöffnung, wo sich eine Vorschneide- oder Abstechhaspel befindet. Schieber gliedern den Kasten in einzelne Abteile, so daß bestimmte Mischungsverhältnisse hergestellt werden können, wenn diese Abteile mit verschiedenen Rohstoffen gefüllt sind (Verwendung als Dosiergerät). (s. Bild)



Kastenbeschicker

Katalysator (griech.: kata = gänzlich, gegen; lyein = lösen) – *ein Stoff, der ohne im Endprodukt der Reaktionen zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert (Ostwald).* Ein K. kann fest, flüssig (gelöst) oder gasförmig sein.

Ein K. ändert nur die Reaktionsgeschwindigkeit, nicht aber die Gleichgewichtslage einer chemischen Reaktion. Er kann auch keine Reaktionen in Gang bringen, die thermodynamisch nicht möglich sind.

s. Mineralisatoren

Kataraktwirkung – *s.* Trommelmühle

Kationenaustausch – *s.* Ionenaustausch

Katodenzerstäubung – *s.* Sputtern

Kawenit – *Wz für die vom Kombinat Keramische Werke Hermsdorf (Betrieb Porzellanwerk Auma und Elektrokeramische Werke Sonneberg) hergestellten oxidkeramischen und Hochtemperaturwerkstoffe* für Anwendungen als Schutzgasschweißdüsen, Schmelztiegel, Rohrofensegmente, vakuumdichte Keramik-Metallverbindungen, Faden- und Drahtleitelemente, Schleifkörper, Ziehsteinkerne, Plunger und transparente Erzeugnisse (Brennerrohre, UV-lichtdurchlässige Keramikdeckel) u. a. Es werden folgende K.-Werkstoffe unterschieden (s. nebenstehende Tabelle):

Keep – Bezeichnung für den Teil an einem Teller oder einer Schale, der die Verbindung zwischen dem inneren Abschluß der Fahne und dem Übergang zum geraden Bodenteil (Spiegel) herstellt.

Kegelbrecher (Rundbrecher, Konusbrecher) *Zerkleinerungsaggregat für mittelharte bis harte Materialien.* Die Zerkleinerung erfolgt in einem ringförmigen Brechraum zwischen einem kreisförmig taumelnden Brechkegel und einem feststehenden kegelförmigen Brechmantel (s. Bilder S. 237). Das dem Brechraum kontinuierlich zugeführte Brechgut wird durch Annäherung des Brechkegels an den Brechmantel zerkleinert, gleichzeitig kann das Brechgut auf der gegenüberliegenden Seite des Brechkegels durch dessen Abstand vom Brechmantel nachrutschen bzw. aus dem Brechraum ausfallen. Der Durchsatz liegt bei K. höher als bei vergleichbaren Backenbrechern*.

Man kennt:

- Steilkegelbrecher für eine Aufgabekorngröße von 150 bis 500 mm und eine Endkorngröße von 25 bis 50 mm, einen Durchsatz von 35 bis

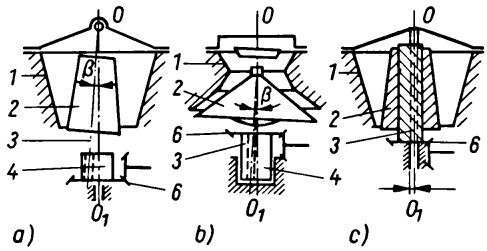
Kawenit-Werkstoffe (Auswahl)

Bezeichnung	Scherbenbeschaffenheit	Maximale Arbeitstemperatur in °C	Charakteristika
Kawenit IR	dicht	1650	etwa 60 % Al_2O_3 + 40 % SiO_2, korrosionsfest
Kawenit P8	dicht	1700	92 % Al_2O_3, hartlötfähig, metallisierbar, geringe dielektrische Verluste
Kawenit SR	dicht	1800	96 % Al_2O_3 + 3 % Cr_2O_3, hohe Härte, große Abriebfestigkeit
Kawenit T6	dicht	1750	97 % Al_2O_3, hochverschleißfest
Kawenit S	dicht	1800	99,5 % Al_2O_3, hohes Wärmeleitvermögen, geringe dielektrische Verluste
Kawenit S, transparent	dicht	1850	99,7 % Al_2O_3, hohe Lichtdurchlässigkeit im sichtbaren und UV-Licht
Schaumkeramik Kawenit S	hochporös	1800	hohes thermisches und elektrisches Isoliervermögen, rasche Entgas- und Durchspülbarkeit mit Gasen
Kawenit ZS	porös	1700	etwa 98 % $ZrSiO_4$, sehr gute *TWB*, korrosionsbeständig gegenüber sauren Schmelzen
HC 20-M	dicht	1600	Oxid-Carbid-Mischwerkstoff, hochverschleißfest, höhere Biegefestigkeiten als reine oxidkeramische Werkstoffe

3500 t h^{-1}; der spezifische Arbeitsbedarf liegt bei 0,15 bis 0,5 kW h t^{-1},

- Flachkegelbrecher für eine Aufgabekorngröße von 25 bis 300 mm und eine Endkorngröße von 5 bis 40 mm, einen Durchsatz von 10 bis 600 t h^{-1}; der spezifische Arbeitsbedarf liegt bei 0,4 bis 2,2 kW h t^{-1}.

[330]



Brechkegelkinematik bei Steil- und Flachkegelbrechern

a) Steilkegelbrecher mit kegelförmiger Bewegung der Brechkegelachse (hängender Brechkegel)

b) Flachkegelbrecher mit kegelförmiger Bewegung der Brechkegelachse (abgestützter Brechkegel)

c) Steilkegelbrecher mit zylindrischer Bewegung der geometrischen Brechkegelachse um die Achse 00 (eingespannte Brechkegelachse mit abgestütztem Brechkegel und Exzenterbuchse)

1 Brechrumpf und Brechmantel
2 Brechkegel
3 Brechkegelachse
4 Exzenterbuchse
5 Kopflager
6 Kegelradantrieb

Kegelfalltemperatur – *Temperaturhöhe, bei der standardisierte keramische Massen, die zu dreiseitigen Kegeln verpreßt wurden (sog. Segerkegel, Pyrometerkegel), infolge Erweichung umgebogen werden, d. h., daß die Spitze des Kegels gerade die Unterlage berührt.* Da keramische Materialien im allg. keinen abrupten Übergang vom festen in den flüssigen Zustand zeigen, sondern erweichen, wird die K. beeinflußt von:

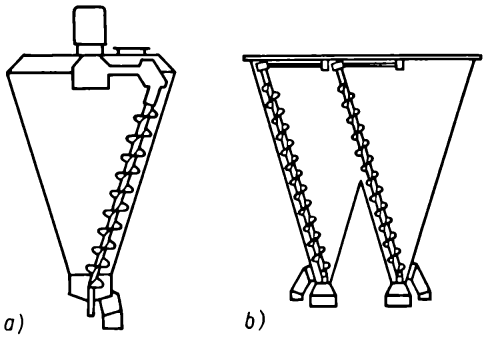
- der tatsächlichen Temperaturhöhe,
- der Dauer der Wärmeeinwirkung,
- der Anstiegsgeschwindigkeit der Temperatur.

s. Segerkegel, Pyrometerkegel

Kegelschneckenmischer – *Mischgerät,* das sich insbesondere für die Mischung und Vergleichmäßigung größerer Chargen von Pulvern eignet (s. Bild S. 238 oben).

In einem siloartigen Behälter läuft eine Mischschnecke entlang der Behälterwand und führt zusätzlich Eigendrehungen aus. [112]

Kelsterbacher Porzellanmanufaktur – 1761 aus einer kleinen Fayencefabrik in Kelsterbach entwickelte Manufaktur, die bis 1802 betrieben wurde. Im wesentlichen wurde nach Meissener, Nymphenburger und Frankenthaler Art produziert (Marke: HD mit oder ohne Krone; s. Bild S. 238).



Kegelschneckenmischer
a) System NAUTA »Blitzmischer«
b) System NAUTA »Combimischer«

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Kelsterbach

Kelsterbach 1761

Keramik – Der Begriff K. leitet sich vom griechischen Wort keramos = Ton, Topf ab; in den modernen Sprachgebrauch wurde er erstmalig 1768 von dem Geologen *Passeri* eingeführt und bezeichnete Irdengut*, Steingut*, Steinzeug* und Porzellan*.

Nach heutigen Erkenntnissen bezeichnet K. Werkstoffe und Erzeugnisse, die nach keramischer Technologie*, d.h. aus einem Pulver* geformt werden und im allgemeinen durch einen Sinterprozeß oder im Spezialfall auch erst bei ihrem Einsatz ihre Gebrauchseigenschaften erhalten. K. ist ihrer Natur nach anorganisch-nichtmetallisch und polykristallin, selten monokristallin. Zwischen den Kristallen* können mehr oder weniger glasige Bindesubstanz (Glasphase*) und Poren* vorhanden sein.

Die keramische Industrie hat in den letzten Jahrzehnten eine so breite Entwicklung genommen, daß sie heute auch Werkstoffe und Erzeugnisse herstellt, die sich – strenggenommen – nicht in die obige Definition einordnen lassen:

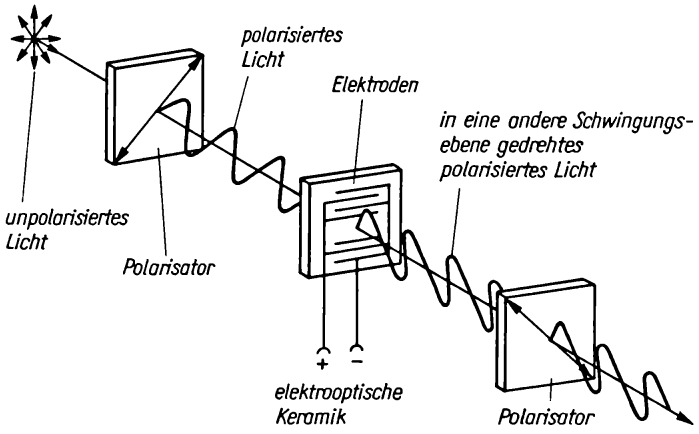
- In Analogie zur Glastechnologie, bei der im allgemeinen von der Schmelze ausgegangen und nachfolgend geformt wird, werden z.B. schmelzgegossene feuerfeste Erzeugnisse hergestellt; sie werden aus traditionellen Gründen der K. zugerechnet.
- In der Pulvermetallurgie – von *Skaupy* noch Metallkeramik bezeichnet – werden mehrkomponentige Systeme wie Metall-Metall- oder Metall-Keramik-Verbunde durch Fest-Fest- oder Fest-Flüssig-Reaktionen von Pulvern erzeugt, d.h., es kommt keramische Technologie in Anwendung.

Die K. als wissenschaftliche Disziplin ist ein Zweig der chemischen Verfahrenstechnik bzw. Hüttenkunde. [76, 144, 221, 320, 395 bis 397]

Keramik, elektro-optische – *transparente lanthandotierte Blei-Zirconate/Titanate (PLZT), bei denen zwei Effekte genutzt werden:*

1) elektrisch steuerbare Doppelbrechung,
2) elektrisch steuerbarer Streueffekt.

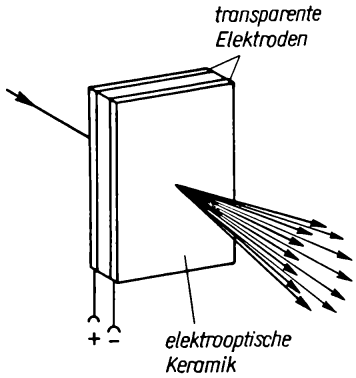
zu 1) Prinzip der Doppelbrechung (s. Bild) – die mit Fingerelektroden versehene e.-o. K. wird zwi-



Elektrisch steuerbare Doppelbrechung

schen zwei gekreuzte Polarisatoren gebracht. Im spannungslosen Zustand geht das polarisierte Licht unbeeinflußt durch die e.-o. K. und wird vom zweiten gekreuzten Polarisator zurückgehalten; die Anordnung erscheint dunkel. Wird jedoch Spannung angelegt, dreht sich durch die e.-o. K. die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes und passiert jetzt den zweiten gekreuzten Polarisator; die Anordnung erscheint hell. Anwendungsmöglichkeiten sind: schnelle optische Schaltvorgänge (µs-Bereich), Lichtmodulation, Lichtschutzeinrichtungen.

zu 2) Prinzip des Streueffekts (s. Bild) – auf die



Elektrisch steuerbarer Streueffekt

e.-o. K. werden beiderseitig transparente Elektroden aufgebracht, die bei Anlegen einer Spannung ein elektrisches Feld aufbauen, das Streuzentren als Folge von Domänenbildung in dem ferroelektrischen Material erzeugt. Ohne elektrisches Feld sieht die e.-o. K. wie Glas aus, mit elektrischem Feld wie Milchglas. Die erforderlichen Feldstärken liegen in der Größenordnung von 0,7 bis 1,5 kV mm^{-1}. Der gestreute Zustand bleibt auch nach Abschalten der Spannung eine bestimmte Zeit erhalten (Kondensatorwirkung). Erst durch einen Kurzschluß erfolgt der Ladungsausgleich, und die e.-o. K. wird in den ungestreuten Zustand zurückversetzt.

Anwendungsmöglichkeiten: Anzeigeelemente, passive Intensitätsmodulation von Laserstrahlen bis in den MHz-Bereich. [7]

Keramik, feuerfeste – *nach keramischer Technologie* gefertigte Werkstoffe für einen Dauerbetrieb oberhalb 1 000 °C.* Nach internationalen Vereinbarungen wird ein Stoff als feuerfest bezeichnet, dessen Erweichungstemperatur mindestens bei 1 520 °C (PK 152) liegt, als hochfeuerfest mit einer Erweichungstemperatur bei mindestens 1 800 °C (PK 180). Werkstoffe, die oberhalb 1 000 °C erweichen, werden allgemein nur als hitzebeständig bezeichnet.

s. Feuerfestigkeit, Feuerfesterzeugnisse

Keramik, Klassifizierung der (lat.: classis = Abteilung, Aufgebot) – Für die K. wurde über lange Zeit der Scherben* als bestimmendes Element angesehen und hiernach unterteilt, z. B. in Grob- und Feinkeramik (nach Größe der Gefügeelemente), in porös oder dicht (gemessen an der Wasseraufnahme des gebrannten Scherbens), in feuerfest oder nichtfeuerfest (nach der thermischen Belastbarkeit) u. a.

Die im folgenden wiedergegebene K. d. K. nach *Reh* verläßt das binäre Ja/Nein-Entscheidungsprinzip und ordnet die Werkstoffe/Erzeugnisse der Keramik nach ihren Eigenschaften und Hauptkriterien [320]; s. ab S. 240.

Keramik, schwarze – *durch einen dunkel gefärbten Scherben ausgezeichnete keramische Werkstoffe, wie z. B. Ferrite*, Graphiterzeugnisse*, durch carbidische Komponenten dunkel gefärbte Al_2O_3-Keramik u. a.*

Der Begriff wird meist als Gegenüberstellung zur »weißen Keramik«, wie Sinterkorund, Porzellan u. a. benutzt.

s. Kohlenstoffablagerung

Keramik, technische – *Sammelbezeichnung für eine Vielzahl von Werkstoffen und Erzeugnissen, die nach keramischer Technologie* mit den unterschiedlichsten Eigenschaften als Halb- und Fertigfabrikate für die verschiedensten Einsatzgebiete gefertigt werden.* Die Palette reicht von Isolatoren über Halbleiter, Kontaktwerkstoffe, Sensoren, Festelektrolyte, Füllkörperkolonnen, Keramikteile für Paßelemente bis zu Endoprothesen. Resultierend aus den unterschiedlichen Anwendungsgebieten und den damit verbundenen speziellen Forderungen haben sich heute selbständige Zweige der t. K. herausgebildet, wie Konstruktionskeramik*, Funktionskeramik*, Glaskeramik*, Pulvermetallurgie*, Biokeramik*, Sonderkeramik*, Strukturkeramik* u. a.

In der Umgangssprache hat sich der Begriff t. K. auch als Bezeichnung für den Industriezweig, der diese Werkstoffe und Erzeugnisse produziert, eingebürgert.

s. Klassifikation der Keramik

Einteilung der Keramik nach den Materialeigenschaften

	Begriff	Bestimmendes Kriterium	Untergruppe	Wesentliche Eigenschaft	Produktionsgruppen
Gebrauchskeramik	Zierkeramik	ästhetische Kriterien			Figuren
	Geschirrkeramik	Gefäße für die Ernährung		dichte Oberfläche	
	Baukeramik	Einsatz im Baubereich	tragende Baukeramik	mechanisch fest	Ziegel Klinker
			Verkleidungskeramik	wasserundurchlässig	Wand- und Bodenfliesen Dachziegel
			Keramikrohre	chemisch beständig	Kanalisationsrohre Kabelrohre
			poröse Baukeramik	definierte Porosität	Drainagerohre Kacheln Wärmeisoliersteine
			Sanitärkeramik	dichte Oberfläche	
Porokeramik		Wasserdurchlässigkeit		definierte Porosität	Blumentöpfe Verdunster
Technische Keramik / Hochleistungskeramik	Feuerfestkeramik (Thermokeramik)	thermische Keramik	Konstruktions-Feuerfestkeramik	thermisch beständig	Steine Massen Brennhilfsmittel Wärmetauscher in Öfen Schutzrohre
			Isolier-Feuerfestkeramik	thermisch isolierend	Steine Massen (ff. isolier.) Fasern
	Chemokeramik	chemische Kriterien	chemotechnische Keramik	chemisch beständig	Prod. f. d. chemische Verfahrenstechnik, Filter

(Fortsetzung Tabelle S. 240)

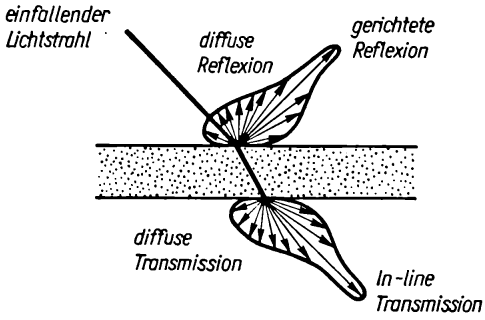
	Begriff	Bestimmendes Kriterium	Untergruppe	Wesentliche Eigenschaft	Produktionsgruppen
Technische Keramik / Hochleistungskeramik			aktive Chemokeramik	chemisch aktiv	Katalysatoren und -träger Sensoren
	Mechanokeramik	mechanische Kriterien	Motorenkeramik	mechanisch fest	Brennraumauskleidungen Verschleißteile
			Maschinenbaukeramik		Dichtungsringe Pumpen- und Ventilbauteile
			Schneidkeramik		Schneidplatten
			Schleifkeramik		Abriebwerkzeuge Schleifscheiben
	Reaktorkeramik	kerntechnische Kriterien		spezielle nuklear-techn. Eig.	Kernbrennstoffe Absorbermaterial
	Elektrokeramik	elektrische Kriterien	passive Elektrokeramik	elektrisch isolierend	Isolatoren Zündkerzen Substrate Heizleiterträger
			aktive Elektrokeramik	spezielle elektrische Eigenschaften	Kondensatoren Varistoren Thermistoren elektrisch-mechanische Wandler Heizleiter/ Widerstände Elektroden Festelektrolyte
	Magnetokeramik	magnetische Kriterien	Weichmagnete	Ummagnetisierung	Spulenkerne Speichermedien
			Dauermagnete	magnetische Energiedichte	Magnete für Motoren Lautsprecher

(Fortsetzung Tabelle S. 241)

	Begriff	Bestimmendes Kriterium	Untergruppe	Wesentliche Eigenschaft	Produktionsgruppen
Technische Keramik / Hochleistungskeramik	Optokeramik	optische Kriterien	passive Optokeramik	durchscheinend	Lampengehäuse optische Fenster
			aktive Optokeramik	optoelektrisch	Lasermaterial elektrisch-optische Wandler
	Biokeramik	medizinische Kriterien	Implantatkeramik	biokompatibel	Implantate
			Dentalkeramik	mechanisch fest	Zahnkronen

Keramik, transparente (lat.: trans = hindurch, parare = vorbereiten) – *in den letzten Jahren aufgekommene Bezeichnung für eine Gruppe von Werkstoffen (Al_2O_3, AlON u. a.), die sich durch hohe Lichtdurchlässigkeit (in-line-transmission) auszeichnet.*

Durchdringt Licht einen polykristallinen Festkörper, treten folgende Wechselwirkungen mit dem Festkörper auf (s. Bild):



Wechselwirkung des Lichtes mit Keramik, nach *Peelen*

- Reflexion an den Grenzflächen,
- Absorption,
- Doppelbrechung an optisch anisotropen Kristallen,
- Streuung an Poren, Fremdeinlagerungen, Rissen und Korngrenzen.

Durch *Reflexion* tritt an den Grenzflächen des Körpers ein unvermeidlicher Lichtverlust ein; bei durchsichtigen Materialien ist der Anteil des reflektierten Lichtes durch die *Fresnel*sche Formel gegeben. Durch Unebenheiten wird v. a. der Anteil der diffusen Reflexion erhöht.

Die *Absorption** des sichtbaren Lichtes in einem Festkörper ist von der Anzahl der freien bzw. leicht anregbaren Elektronen abhängig. Oxidkeramische Festkörper mit starken Atom- bzw. Valenzbindungen weisen demzufolge im sichtbaren bis hohen Infrarotbereich eine vernachlässigbare Absorption auf.

Der Einfluß der *Doppelbrechung* auf die Durchlässigkeit kann nach *Peelen* [230] vernachlässigt werden; er bewirkt jedoch eine stetige Veränderung der Richtung des Lichtes an den Korngrenzen. Dies führt dazu, daß polykristalline Körper doppelbrechender Stoffe (z. B. Al_2O_3) trotz hoher Transmission im Gegensatz zu optisch isotropen Stoffen (z. B. MgO) nur einen Lichtdurchgang mit diffusen Konturen erlauben. Sie sind mehr durchscheinend als durchsichtig.

Das *Gefüge** keramischer Werkstoffe hat wesentlichen Einfluß auf die Lichtdurchlässigkeit. Zur Erzielung hoher Transmission haben zusammenfassend folgende Faktoren Bedeutung:

- wenig Phasengrenzen,
- sehr niedrige Porosität (möglichst Null),

- Vermeidung von Fremdausscheidungen an den Korngrenzen,
- glatte Oberfläche zur Minimierung der Reflexionsverluste.

Bei der Applikation von t. K. spielt außerdem die mechanische Festigkeit eine wesentliche Rolle. [123, 230]

s. Transparenz

Keramik-Dauerimplantate (lat.: planta = Pfropfreis) – *in den menschlichen Körper integrierbare Konstruktionen aus bioinerten keramischen Werkstoffen, d. h. Materialien, die im Organismus keine Abwehrreaktionen auslösen.*

Langzeitimplantate auf der Basis von höchstreinem Al_2O_3 werden gegenwärtig eingesetzt als:

- Gelenkersatz für zerstörte oder funktionsuntüchtige Gelenke; außer hoher mechanischer Festigkeit wird noch gute Abriebfestigkeit gefordert. Gegenwärtig werden wegen der geringeren Biegewechselfestigkeit des Al_2O_3 meist Verbundprothesen (Metallschaft – Keramikkopf und Keramikpfanne) eingesetzt.
- Ersatz für Ohrknöchel im Mittelohr,
- Ersatz für Augenlinsen auf der Basis von durchsichtigen Al_2O_3-Einkristallen,
- Zahnersatz, genauer ein Trägersystem für Zahnprothesen; das Implantat muß im Kieferknochen verankert werden, damit es den Kaubelastungen standhält, darf aber beim Durchtritt durch das Zahnfleisch keine Infektionen auslösen (s. Bilder 12 und 13 im Kunstdruckteil).

[406]

Keramik-Metall-Kombination – *mikroskopisches oder makroskopisches Zusammenführen von keramischen und metallischen Substanzen zu einem Verbundwerkstoff* mit dem Ziel, die jeweils guten Eigenschaften der einen Komponente mit den guten Eigenschaften der anderen Komponente zu verbinden.*

Viele keramische Werkstoffe zeichnen sich durch gute Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aus, während Metalle eine gute Duktilität* und Temperaturwechselbeständigkeit aufweisen.

Eine stabile K. wird erreicht durch

- gute Haftung der Komponenten (sie wird wesentlich von Benetzung* und Adhäsion der Systempartner beeinflußt),
- Ähnlichkeit der thermischen Ausdehnung beider Partner.

s. Cermet, Verbundwerkstoffe, Metallisierung, Überzüge, keramische, Email

Keramographie – *ein in neuerer Zeit angewandter Begriff für den Teil der wissenschaftlichen Keramik, der eine Beziehung zwischen Rohstoffen und Phasenaufbau der keramischen Werkstoffe, dem Gefüge der Werkstoffe und den technischen Parametern herzustellen versucht.* Die Keramographie greift dabei auf Zustandsdiagramme, Phasenanalysen und stereologische Analysen zurück.

Zwischen den Rohstoffen, den Verfahrensschritten, dem Gefüge und den Eigenschaften eines keramischen Werkstoffes bestehen enge Beziehungen; zur Beurteilung des Werkstoffes sind folgende Parameter zu erfassen:

- Art und Menge der im Werkstoff vorhandenen Phasen*, einschließlich Poren.
- räumliche Anordnung der das Gefüge* aufbauenden Phasen durch Kennwerte, wie mittlere Korngröße*, Formfaktor*, Nachbarschaftsverhältnisse, örtliche Verteilung der Phasen, Orientierungen (Texturen*),
- Erfassung der im Spezialfall interessierenden technischen Parameter.

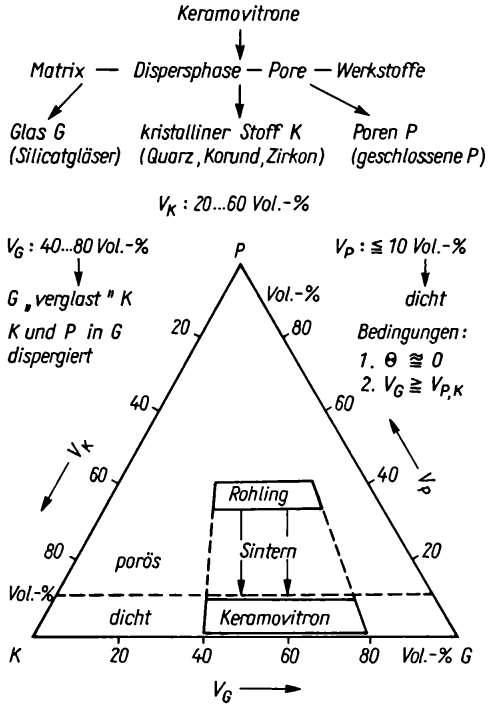
Die erste Gruppe läßt sich unter dem Begriff Phasenanalyse*, die zweite unter dem Begriff quantitative Gefügeanalyse*, Stereologie* (Bildanalyse) zusammenfassen. Schließlich müssen die Erkenntnisse mit Hilfe von Schaubildern, mathematischen Anordnungen usw. erfaßt, verarbeitet und gegebenenfalls verallgemeinert werden.

Keramovitrone (lat.: vitrum = Glas) – *Gruppe von Werkstoffen, die im wesentlichen durch nichtreaktive Sinterung feingemahlener Mischungen aus kristallinen und glasigen Komponenten hergestellt werden.*

Je nach Wahl der Zusammensetzung der kristallinen und glasigen Komponenten sowie ihres Mischungsverhältnisses werden Werkstoffe mit unterschiedlichen Gebrauchseigenschaften erreicht, z. B. (s. Bild S. 244):

- porzellanartige Werkstoffe (entsprechend den technischen Parametern KER 114 TGL 7838) werden auf der Basis von Quarzsand als kristalline Komponente und Soda-Kalk-Glas (Grünglasabfälle) erhalten,
- sondersteatitartige Werkstoffe (entsprechend den technischen Parametern KER 225 TGL 7838) werden auf der Basis von Zirkon* bzw. Korund* als kristalline Komponente und Erdalkaliborosilicatglas erhalten.

Die Aufbereitung der Massen erfolgt nach der traditionellen keramischen Technologie*, die Form-



Keramovitrone: Matrix – Dispersphase – Pore – Werkstoffe

gebung durch Trockenpressen oder isostatisches Pressen. Die Dichtsintertemperaturen liegen im Temperaturbereich 800 bis 1000 °C. [389]

Kerbeffekt – *Auswirkung, die sich in einer Verminderung der Festigkeit der Werkstoffe durch Mikrorisse, Poren, Kerbstellen u. a. äußert.* Aus der Beobachtung, daß die theoretische Festigkeit der meisten Werkstoffe um ein Vielfaches höher liegt als die praktisch gefundene, schließt man auf das Vorhandensein von Kerbstellen. Außerdem tritt bei bestimmten Konstruktionen eine Festigkeitsminderung besonders an solchen Stellen ein, an denen der Kraftfluß zusammengedrängt ist, so daß man bei spröden Stoffen zweckmäßig zwischen Gestalt- und Werkstoffestigkeit unterscheidet.

Kerbfestigkeit – *s.* Rißwiderstandskraft

Kernbrennstoff – *spaltbares Material, das in der Lage ist, genügend Neutronen für eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abzugeben.* Von K. wird gefordert, daß sie eine hohe Beständigkeit gegenüber dem Kühlmittel aufweisen und die Abbrände bei sehr hohen Temperaturen ablaufen. K. werden eingesetzt in Form von: Sinterkörpern (z. B. Uranoxid, Urancarbid), Cermets (z. B. UO_3 in einer Zirkonmatrix) und Metallen (z. B. Uran). Gewöhnlich werden nur Mischungen von Isotopen eingesetzt, von denen nur ein bestimmter Anteil spaltbar ist.

Kernguß – *s.* Gießen

Kettensilicate – *s.* Silicatstruktur

Kienöl – *aus den harzreichen Wurzelstöcken von Kiefer und Fichte gewonnenes, unangenehm nach Phenol riechendes etherisches Öl.* Die Dichte des gereinigten Produktes beträgt bei 15 °C 0,86 bis 0,88 g cm^{-3}. K. wird u. a. bei der Herstellung von Lack- und Ölfarben sowie zum Anmachen von Aufglasurfarben verwendet.

Kieselgel – *ein durch Kondensations- und Assoziationsreaktionen entstandenes Kieselsäurenetzwerk, in dessen Hohlräumen Wasser eingeschlossen ist.* Je nach Herstellungsbedingungen entstehen engporige Gele (Porenradius ≈1,5 nm, innere Oberfläche 600 bis 800 $m^2 g^{-1}$) oder weitporige (Porenradius 4,0 bis 6,0 nm, innere Oberfläche 250 bis 400 $m^2 g^{-1}$). Bei einem frischen K. kommen auf ein SiO_2 etwa 300 Moleküle Wasser. Beim Trocknen tritt eine kontinuierliche Wasserabgabe ein; getrocknetes K. mit 30 bis 40 H_2O je SiO_2 ist relativ fest, mit 10 H_2O bröckelig, mit 6 H_2O zerreibbar. Getrocknete K. bezeichnet man auch als *Xerogele*, die infolge Alterns durch Wasserabgabe bedingte Schrumpfung als *Synärese*. Getrocknete K. besitzen aktive $-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-OH$-Gruppen auf der Oberfläche. Durch gezielte Veränderungen der Oberfläche bzw. Einführung neuer Gruppen anstelle von OH lassen sich K. mit definierten Adsorptionseigenschaften herstellen.

Verwendung: Ad- und Absorptionsmittel, Katalysatoren, Füllstoffe, Trocknungs- und Reinigungsmittel. [16, 17]

Kieselglas (Kieselsäure, amorphe) – *eine aus dem schmelzflüssigen Zustand durch Abschreckung eingefrorene unterkühlte Schmelze,* die eine Reihe von Vorzügen aufweist, wie gute Feuerfestigkeit* (T_s = 1710 °C), geringe Wärmeleitung* (λ = 1 W $(m K)^{-1}$ zwischen 20 und 1000 °C) und eine sehr geringe Wärmedehnung* (0,054 % zwischen 20 und 1000 °C), und daher schockartig von Raumtemperatur auf 1650 °C aufgeheizt werden kann. K. hat in Form von Ausgüssen*, Schattenrohren* u. a. insbesondere im metallurgischen Stranggießbereich eine breite Anwendung gefunden.

Ausgangsmaterial bilden Sande mit einem SiO_2-Gehalt von 99,8 %, die im Lichtbogenofen bei Temperaturen >2 000 °C geschmolzen werden. Durch rasches Abkühlen werden Blöcke von amorphem SiO_2 erhalten. Nach Naßmahlung erfolgt die Formgebung im feinkeramischen Schlikkervollgußverfahren. Das Brennen der Formlinge erfolgt bei Temperaturen von etwa 1 100 °C, wobei ein Kompromiß zwischen Verfestigung und Entglasung gefunden werden muß; wegen der niedrigen Wärmeleitfähigkeit muß jedoch eine Mindestbrenndauer eingehalten werden.

Im Einsatz findet zwischen 1 000 und 1 700 °C eine Entglasung* statt, wobei sich α-Cristobalit bildet. Da die Dichten von α-Cristobalit und K. praktisch identisch sind (ϱ = 2,20 bis 2,22 g cm^{-3}), geht die Entglasung ohne nennenswerten Volumensprung vor sich. Erst bei Unterschreitung einer Temperatur von 270 °C findet die reversible α/β-Umwandlung mit einer Volumenkontraktion von 2,8 % statt, die zu Rißbildung und ggf. Zerstörung führt.

Tauchausgüsse aus K. werden mechanisch durch Schwingungen und chemisch durch Gießpulver und Stahlerosion angegriffen. So greift z. B. das im Stahl gelöste Mangan Tauchausgüsse nach der Gleichung $2\,Mn + SiO_2 \rightarrow 2\,MnO + Si$ an. Letzterer Vorgang schränkt die Verwendung von K. ein. [553]

Kieselgur (Kieselerde, Diatomeenerde, Molererde, Infusorienerde) – *mikroskopisch feine Schalen einzelliger Kieselalgen (Diatomeen) oder von Radiolarien (einzellige Tiergruppe).* Die Größe der Schalen bewegt sich zwischen 5 bis 400 µm. Chemisch besteht K. aus 96 bis 97 % SiO_2; sie ist amorph und wasserhaltig. Nach der Struktur gehört K. zur Gruppe der Opale:

D = 1,9 bis 2,3 g cm^{-3}, ϱ_R = 0,24 g cm^{-3}. Oberhalb 1 150 °C wandelt sich die K. in Cristobalit um. Ausgezeichnetes Isolationsmaterial gegen Wärme und Schall; Rohstoff für keramische Filter.

Kieselgut – *durch kleine Bläschen getrübter durchscheinender Werkstoff auf der Basis von reiner Kieselsäure.* Die Herstellung erfolgt durch Zusammenschmelzen von Sand in elektrisch beheizten Öfen. Die Formgebung wird im thermoplastischen Zustand durchgeführt, teilweise wird auch Schlikkergießen angewandt. Einsatz erfolgt als Laborgefäße, Apparateteile, Wannensteine u. a. K. wird fälschlich auch als Quarzgut bezeichnet.

Kieselsäuren – *schwache Säuren mit geringen Dissoziationskonstanten.* Charakteristisch ist ihre Instabilität, die durch Hydrolyse- und Kondensationsreaktionen verursacht wird. Kieselsäuren werden durch Hydrolyse von Siliciumhalogeniden, z. B.

$$SiCl_4 + 4\,H_2O \rightarrow H_4SiO_4 + 4\,HCl,$$

Alkoxysilanen, durch Auflösen von Silicaten in Säuren, Ansäuern von Silicatlösungen, Behandeln von Silicatlösungen und Ionenaustauschern erhalten.

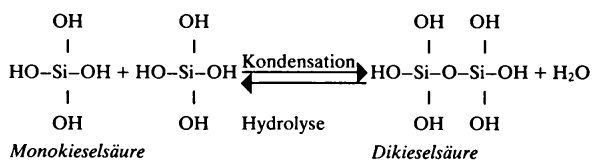
1) Mono- oder Orthokieselsäure (H_4SiO_4) – einzige Kieselsäure, die in wäßriger Lösung unter bestimmten Bedingungen stabil ist.

2) Dikieselsäure ($H_6Si_2O_7$) – entsteht leicht aus Monokieselsäure (s. unten).

Unter Kondensation versteht man hier die Reaktion von Einzelmolekülen zu größeren Molekülen unter Wasserabspaltung; umgekehrt bezeichnet man die Aufspaltung einer $-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-$ Bindung durch Wasser als Hydrolyse.

3) Theoretisch führen weitere Kondensationen über Polykieselsäuren $H_{2n+2}Si_nO_{2n+1}$ zur Bildung von *Metakieselsäuren* der Bruttozusammensetzung H_2SiO_3, wobei bei kleiner Gliederzahl $n = 3$ oder 4 bzw. 6 die Moleküle zu einem Ring geschlossen werden, dagegen bei $n = \infty$ als offene Kette vorliegen.

4) In der Realität sind die Verhältnisse komplizierter; in verdünnten Kieselsäurelösungen ($c_{SiO_2} < 10^{-3}$ mol l^{-1}) laufen bevorzugt Hydrolysereaktionen ab, dagegen in konzentrierten Lösungen in Abhängigkeit von pH-Wert, Temperatur, Fremdionengehalt und SiO_2-Konzentration Kon-



densationsreaktionen. Diese führen zu hochmolekularen Kieselsäuren, die jedoch durch Assoziationen in *Kieselgele** übergehen. Letzteres ist auch der Grund dafür, daß in wäßrigen Lösungen keine definierten moleküleinheitlichen Kieselsäuren erhalten werden.
[2, 16, 17]

Kieselsole – *1- bis 6molare wäßrige Lösungen hochmolekularer Kieselsäuren.* Die Kieselsäureteilchen liegen als kugelige Kolloide in der Größenordnung 10 bis 100 nm vor und werden durch Ansäuern von Silicatlösungen und nachfolgendem Entsalzen bzw. Behandeln mit Ionenaustauschern erhalten. K. sind instabil und müssen stabilisiert werden. Als Stabilisatoren werden Alkalihydroxide (≈0,4 %), Amine, Polyglykole oder Cellulosederivate verwendet; der Stabilisierungseffekt beruht auf gegenseitiger Abstoßung der Teilchen infolge negativer Aufladung. [2, 17]

Kirchner, Johann Gottlieb (geb. um 1706, Todesdatum unbekannt) – von 1727 bis 1729 und 1731 bis 1733 an der Meissener Porzellanmanufaktur als Modellmeister tätig. Seine Figuren und Tiere bzw. Tierplastiken sind gegenüber denen von *Kaendler* ruhiger in der Bewegung und sparsamer in der Oberflächengestaltung.

Kitt – *zähflüssiges, z. T. an der Luft erhärtendes Klebe-, Binde- und Dichtungsmittel, das stets eine geringere Festigkeit als die zu verbindenden Materialien hat.* Man kann K. einteilen in *kaltbindende* (chemisch oder hydraulisch erhärtende, wie Zement, Gips, Wasserglas- und Verdunstungskitte) und *warmbindende* (Thermoplaste, Schellack, bitumöse Vergußmassen, schwefelhaltige Massen und Blei). Thermisch erhärtende K. sind z. B. Bakelit und Epoxidharz. Zum Kitten zerbrochener Keramik kann man Flüsse*, Fritten*, Glasuren* und andere leicht schmelzende Gläser verwenden, z. B. einen steifen Brei aus Bleioxid und Glyzerin, aus Wasserglas, gebrannte Magnesia und Zinkoxid, aus Wasserglas und feinstgesiebtem Zement u. a. m.

Klang – *ein Kriterium für die im Brand eingetretene Verfestigung des keramischen Scherbens.* Beim Anschlagen mit dem Hammer klingt ein gutgebrannter, rissefreier Körper hell; den hellsten Klang haben dichtgesinterte Erzeugnisse (z. B. Porzellan). Ein »klappriger« K. entsteht bei Stükken mit Rissen oder einem zu schwachen Brand.

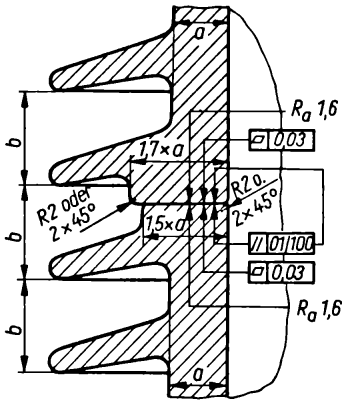
Klassieren (lat.: classis = Abteilung) – *mechanisches Trennen von Körnerkollektiven in Korngrößenbereiche in der Aufbereitungstechnik.* Als Trennmerkmale werden die geometrischen Abmessungen der Körner oder deren Fallgeschwindigkeit in flüssigen oder gasförmigen Medien herangezogen. K. nach geometrischen Abmessungen, d. h. nach der Korngröße, bezeichnet man als *Siebklassifizierung*. Sie wird vorwiegend in Siebmaschinen und Rosten ausgeführt. Für K. nach der Fallgeschwindigkeit ist die Bezeichnung *Stromklassierung* üblich, wobei man bei Trennung in Wasser von *nasser Stromklassierung* und in Luft von *Windsichtung* spricht. Bei der letzten Trennungsart entstehen gewöhnlich keine Korngrößenklassen, sondern Fallgeschwindigkeits- bzw. Gleichgefälligkeitsklassen. Als Ausführungsorgane für K. werden folgende Klassiermaschinengruppen bevorzugt:

- Grobkornbereich ($d > 100$ mm) – unbewegte oder bewegte Roste*,
- Mittel-, Fein- und Feinstkornbereich ($d = 100$ bis etwa 0,3 mm) – Siebmaschinen*,
- Fein- und Feinstkornbereich ($d < 0{,}5$ mm) – Stromklassierer* (trocken oder naß).

Klebetechnik – *Verfahren zum Verbinden von Porzellanteilen geringer Abmessung zu einem Apparateporzellan von Bauhöhen bis 7,0 m durch Kopplung der Verfahrensstufen Schleifen – Entgraten – Anpassen – Kleben – Prüfen.*

Die Herstellung keramischer Isolierkörper mit Höhen >4 m und hohem Schlankheitsgrad* in einem Stück ist nach der traditionellen keramischen Technologie unverhältnismäßig aufwendig. Mit Hilfe der K. ist es möglich, durch geeignete Vorbereitungen der Einzelteile unter Verwendung von Klebeharzen und Haftvermittlern in sog. Klebetürmen ein exaktes Fügen* der Stücke zu erreichen, so daß geklebte Porzellane in ihrer Festigkeit über einen Zeitraum >25 Jahre einem Ganzstück gleichkommen. Nach *M. Brückner* und Mitarbeiter sind in der K. folgende Parameter und technologische Festlegungen von besonderer Bedeutung (s. Bild):

- minimale Rauhigkeit der Fügefläche,
- Edelfuge,
- mechanische Entlastung der Klebstelle,
- Kehlnahtausbildung, innen und außen als Selbstschutz,
- Einsatz eines lösungsmittelfreien Einkomponentenklebharzes mit höchsten Biegefestigkeiten und Temperaturbeständigkeit,



Klebfugengestaltung bei Hohlisolierkörpern

- optimierte Auftragstechnologie mit 100%iger Benetzung* der beiden Fügeflächen mit sofortiger sachgerechter Fixierung und Aushärtung,
- gleichmäßiger Härtungsverlauf über die gesamte Klebefugenbreite,
- Kontrolle des Härtungsablaufs an mitgeklebten Prüfkörpern,
- Festlegung eines harten Qualitätskontrollsystems für verklebte Apparateporzellane, u. a. *TWB*-Prüfung* und nachfolgende elektrische Wandungsprüfung der Klebestelle.

[388]

Klebsand – *Bezeichnung für einen tonreichen Sand mit geringer Bildsamkeit und mehr oder weniger großem Gehalt an Eisenoxiden.* K. ist ein wichtiger Rohstoff in der Grobkeramik (für saure Schamottesteine, ff. Massen für Zustellung von Gießpfannen u. a., für ff. Mörtel).

Klimaprüfung – *Untersuchung des Verhaltens von Erzeugnissen unter künstlich geschaffenen klimatischen Bedingungen.* Sie wird dann notwendig, wenn Herstellungsort und späterer Einsatzort der betreffenden Erzeugnisse in unterschiedlichen Klimagebieten liegen.

Zur Durchführung wird das zu prüfende Erzeugnis bzw. auch Gerät in einen Prüfraum gebracht, in dem die zu erwartenden klimatischen Einwirkungen künstlich realisiert sind. Es wird zunächst die Funktionstüchtigkeit geprüft, außerdem werden Einwirkungen untersucht, die spätere Funktionsstörungen verursachen könnten.

Von den keramischen Erzeugnissen werden insbesondere Funktionskeramiken, wie Kondensatoren, Halbleiter, Piezokeramiken, Ferrite u. a., einer K. unterzogen. Die wichtigsten Prüfverfahren sind: trocken-warme Kurz- und Langzeitprüfungen, feucht-warme Kurz- und Langzeitprüfungen, Prüfungen auf Frostbeständigkeit sowie auf Beständigkeit gegen Sonneneinstrahlung, Salznebel u. a.

Klinker (Klinkermauerziegel) – *nach grobkeramischer Technologie gefertigte und bis zur Dichtsinterung gebrannte Mauerziegel**, die vorwiegend im Tief- und Wasserbau, für Schornsteine und zur Fassadenverkleidung verwendet werden.

An Rohstoffen werden hochsinternde Tone (1 250 bis 1 350 °C) mit einem Al_2O_3-Gehalt von 15 bis 25 %, Alkaligehalt von 1,5 bis 2,5 % und Fe_2O_3-Gehalt von 6 bis 8 % eingesetzt, ggf. wird zur Erreichung des gewünschten dunkel- bis rotbraunen Farbtons noch Fe_2O_3 zugesetzt. Letzteres reagiert während des Brandes zu Eisensilicat und erzeugt eine stabile Brennhaut. Nach dem Gefüge* sind K. als Steinzeug* anzusprechen. [157]

Klinkerplatten – *aus grobkeramischen Tonen im Trockenpreßverfahren hergestellte spezielle Formen von Klinkern* bzw. Steinzeug*.*

Die Farbe ist gelb bis rotbraun.

K. sind in TGL 22 831/02 standardisiert; man unterscheidet säure- und laugenbeständige K. und nichtsäure- und -laugenbeständige K.

Die Bezeichnung einer säure- und laugenbeständigen K. von der Breite $b = 115$ mm, Dicke $s = 30$ mm und einer Biegefestigkeit 15 MPa (= 150 kp cm^{-2}), Sorte 1A lautet: Klinkerplatte KP_s 115 × 30/150. Die Scherbenrohdichte beträgt 1,90 kg dm^{-3}, die Wasseraufnahme (je nach Qualitätsstufe) 5 bis 11 %, die Biegefestigkeit 7,5 bis 15 MPa, die Säurelöslichkeit 1,0 bis 1,5 %, die Laugenlöslichkeit 3,5 bis 4,0 %. K. sind frostbeständig.

Einsatz: Sockel an Außenwänden, Fußböden im Naßbereich, im Wohnungs-, Industrie- und Landwirtschaftsbau.

[157]

Klinkerpunkt – Die Brenntemperatur bzw. der Brenngrad, die einem Ton oder einer keramischen Masse ein Wasseraufnahmevermögen von nicht mehr als 6 % verleiht.

Klinoenstatit ($Mg_2[Si_2O_6]$)

Kristallographie: monoklin

Physikalische Eigenschaften: farblos; $H = 5$ bis 6; $D = 3{,}192$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}647$, 1,651,

n_β = 1,652, 1,653, n_γ = 1,658, 1,660, Δn = +0,011, +0,009; bildet sich in talkhaltigen Massen beim Abkühlen unterhalb 700 °C aus Protoenstatit, stabil bei Raumtemperatur ist jedoch Enstatit *(Lagerporosität)*.
K. wird als Mischkristall in Dolomitsteinen im Kontakt mit saueren Schlacken oder Silicasteinen beobachtet.
s. Enstatit

Kloster Veilsdorfer Porzellanmanufaktur – 1760 gegründete Manufaktur, die zunächst Geschirr und Dekor nach dem Vorbild Meißens fertigte, auch mit den beliebten Watteau- und Bouchermotiven. Danach folgte eine klassizistische Periode. Die besten Leistungen lagen auf dem Gebiet des figürlichen Porzellans. Gegen Mitte des 19. Jh. verlor die Produktion ihren künstlerischen Wert (Marke: ein verschlungenes CV unter der Glasur; s. Bild).

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Kloster Veilsdorf

Closter Veilsdorf 1760

Kneten – *Vereinigen von Feststoffkomponenten und Flüssigkeiten mit Hilfe von Scherkräften zu einer bildsamen Masse.* Durch Stauchen, Aufteilen und laminares Verschieben werden die Komponenten so verteilt, daß die Feststoffteile von der Flüssigkeit umhüllt werden und die Masse gleichzeitig entlüftet wird. K. erfolgt maschinell durch Schaufelkneter und Masseschlagmaschinen bzw. durch kontinuierlich arbeitende Schrauben-, Sieb- und Maukkneter.

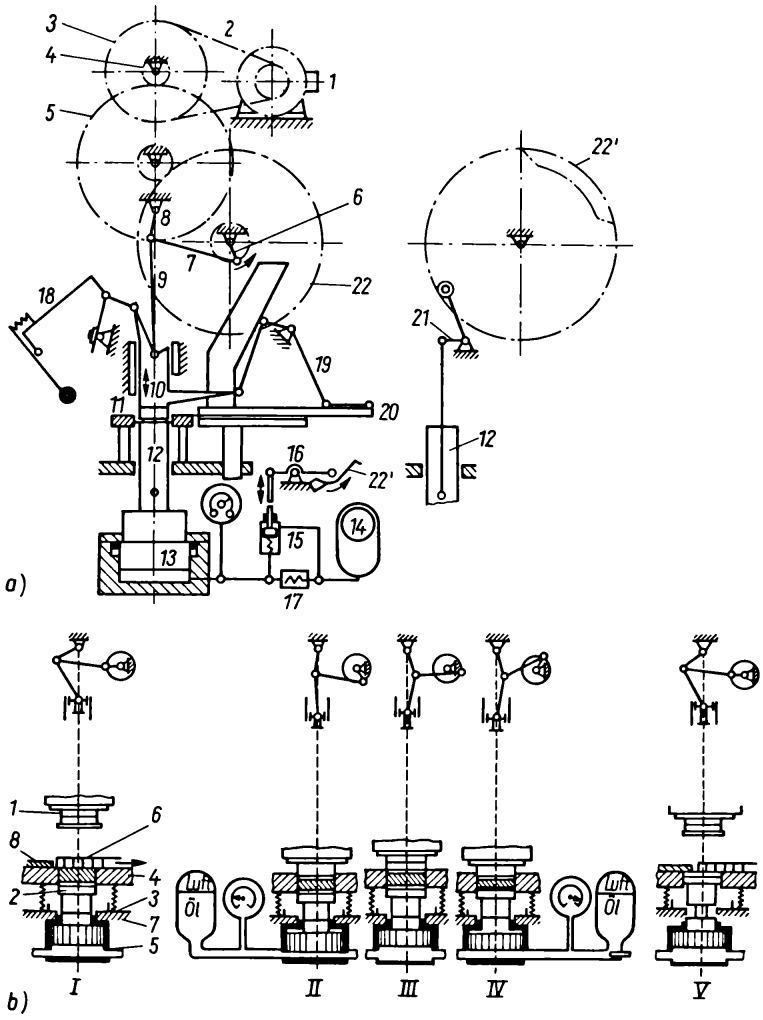
Kniehebelpresse – *Formgebungsmaschine zum Pressen* von Platten*, Fliesen*, Feuerfesterzeugnissen*, zum Brikettieren* von Steatitmassen u. a., die nach dem Kniehebelprinzip arbeitet* (s. nebenstehendes Bild).
Ein Ständeroberteil und -unterteil, die über Zuganker miteinander verbunden sind, bilden den äußeren Rahmen der Presse. Im Ständeroberteil sind die Druck- und die Zugkurbel angeordnet, die das Querhaupt mit dem Oberstempel in Bewegung setzen, im Ständerunterteil befinden sich der Einsatzrahmen mit Matrizenrahmen und der Unterstempel mit dem hydraulischen Gegendruckkolben. Ein Arbeitszyklus entspricht einer Umdrehung der Kniehebelwelle, ihre Drehzahl richtet sich nach der Geometrie des Preßlings.
Neuere Entwicklungen kombinieren K. mit hydraulischen Pressen; sie ermöglichen einmal sehr hohe Preßdrücke durch Nutzung des Kniehebelsystems, und zum anderen können die hydraulischen Bauelemente (Pumpen, Rohre u. a.) sehr viel kleiner gehalten werden als bei rein hydraulischen Pressen (Preßkräfte bis 2 MN). [39, 401]

Knochenporzellan – *ein durch außergewöhnlich weißen Scherben und hohe Transparenz ausgezeichnetes Porzellan;* die mechanische Festigkeit und *TWB* sind mäßig, so daß K. vorwiegend für Kunstgegenstände verwendet wird.
Die ungefähre Zusammensetzung (in Masseteilen): Quarz 10 bis 25 %, Feldspat 0 bis 20 %, Tonsubstanz 20 bis 40 %, Knochenasche 30 bis 60 %. (Knochenasche wird aus Rinderknochen, die mit gespanntem Dampf entfettet und nachfolgend langsam bei 900 °C calciniert werden, gewonnen.) Ersatz der Knochenasche durch Apatitmineralien wird in der Literatur erwähnt.
Der Schrühbrand liegt bei 1250 bis 1300°C, der Glattbrand bei 1050 bis 1100 °C; glasiert wird meist mit transparenten, farblosen Steingutglasuren. Unter- und Aufglasurdekoration ist möglich. Bei letzterer werden oft die verschiedenen Farben

a) Kinematisches Schema der Kniehebelpresse B 125 mit obenliegendem Antrieb

1 Elektromotor
2 Keilriemenantrieb
3 Schwungscheibe
4 Elektromagnet-Einflächenkupplung
5 Stirnradvorgelege
6 Kurbelwelle
7 Koppel
8 Schwinge
9 Stößel
10 Querhaupt
11 Werkzeugoberteil
12 Werkzeugunterteil
13 hydraulischer Topf
14 Druckspeicher
15 gesteuertes Absperrventil
16 Gestänge für die Steuerung des Ventils *15*
17 Überdruckventil
18 Oberstempelputzvorrichtung
19 Füllschieberantrieb
20 Füllschieber
21 Ausstoßhebel
22 Zahnrad mit Steuerkurven
22' für Absperrventil und Ausstoßhebel

(Der Übersicht halber wurden die Elemente 22' nach rechts herausgezeichnet)



b) Arbeitstakte eines Preßzyklus der B 125

I Oberstempel hochgefahren; Form mit Preßmasse gefüllt
II Oberstempel zum Vordruck aufgefahren; Unterstempel gegen Öldruck durchgefedert
III Oberstempel zur Entlüftung angehoben; Unterstempel zurückgefedert
IV Oberstempel zum Hauptdruck aufgefahren; Gegendruck von unten mit höchstem Wert
V Oberstempel und Unterstempel hochgefahren; Formling ausgestoßen

1 Oberstempel
2 Unterstempel
3 Matrizenunterrahmen
4 Matrizenoberrahmen, auf Federn sitzend
5 Zylinder für hydraulischen Gegendruck
6 Füllschieber
7 Pressentisch
8 Formling

(nach VEB Thuringia Sonneberg, Kombinat für Glas- und Keramikmaschinenbau, Werksunterlagen)

einzeln gebrannt, so daß reich ornamentierte Gegenstände mehrmals durch die Dekoröfen laufen. [254]

Koagulation (lat.: coagulare = gerinnen machen) – *Zusammenballen der kolloiden oder kolloidähnlichen Teilchen einer Suspension* zu größeren Aggregaten**. K. kann erfolgen durch:

- Alterung; durch Zusammenstoßen der Teilchen infolge der *Brown*schen Bewegung und Wachsen von größeren Partikeln auf Kosten der kleineren,
- mechanische Einwirkungen, z.B. Ultraschall,
- Zugabe von Elektrolyten – sog. Koagulatoren –, die die stabilisierenden, gleichsinnigen elektrischen Ladungen der Teilchen aufheben; tonige Suspensionen werden z. B. von $MgSO_4$, $CaCl_2$ u.a. zur K. gebracht.

Allgemein bezeichnet man die erste Stufe der K., bei der sich zwischen den Teilchen noch trennende Dispersionsmittelschichten befinden, als Flockung*, die zweite Stufe der K., bei der ein direkter Kontakt der Partner vorliegt und die Teilchen auch nicht durch Peptisation* voneinander getrennt werden können, als Koaleszenz*. [238, 397]

Koaleszenz (lat.: coalescere = zusammenwachsen) – *Vereinigung von Blasen oder Tropfen in einem Fluid nach ihrer Annäherung.*

Ein vollständiges Vereinen der Volumina ist nur durch gegenseitiges Berühren und Zerreißen der zwischen der Volumina befindlichen Schicht des Fluids oder einer an der Oberfläche der Volumina adsorbierten Schicht möglich. Die Gesamtheit der Volumina ändert sich dabei nicht. Durch Zugabe eines grenzflächenaktiven Stoffes können koaleszenzstabile Schichten zerstört werden.

Grenzflächenaktive Stoffe weisen keine Stabilisatorwirkung auf, sie werden an den Phasengrenzen stärker als in dem zwischen den Volumina vorhandenen Fluid adsorbiert.

K. wird u.a. beim Sintern keramischer Massen beobachtet; kleinere Poren werden von größeren aufgenommen, schmelzflüssig gewordene Feldspatpartikel vereinigen sich zu größeren Bezirken. [156]

s. Entschäumer

Koerzitivfeldstärke (lat.: coercere = zusammenhalten) – *die magnetische Feldstärke H_C, bei der die Induktion nach vorhergegangener Aussteuerung bis zur Sättigung im Gegenfeld den Wert Null erreicht.* Die K. ist eine charakteristische Werkstoffkenngröße.

s. Ferrite

Kohlendioxidlaser – *ein quantenmechanischer Verstärker und Generator mit CO_2 als aktivem Medium im Lichtwellenbereich,* der sich unter vielen anderen Anwendungen zum Fügen* von Keramik, Bohren von Löchern in Keramik und Aufdampfen von extrem reinen dünnen Metallschichten auf Substrate* im Hochvakuum sowie zum Ätzen bei Ätzgolddekoration eignet.

1) Allgemein-Laser (Abk. für: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch induzierte Strahlungsemission) – eine neuartige Lichtquelle, mit deren Hilfe es möglich ist, kohärente, elektromagnetische Strahlungen im kurzwelligen, besonders im infraroten und optischen Spektralbereich, zu erzeugen. Sie zeichnet sich aus durch hohe spektrale Energiedichte, Monochromatie (s. Licht, monochromatisches), größte zeitliche und räumliche Kohärenz, vollständige Amplitudenstabilität bei stationärem Betrieb und Möglichkeit der Erzeugung kürzester Lichtimpulse.

2) Wirkungsprinzip

Atome, Ionen und Moleküle können in verschiedenen Energiezuständen existieren. Es sei angenommen, daß zwei mögliche Energiezustände 1 und 2 vorliegen, die ihnen zugeordneten Energieniveaus sind E_1 und E_2, wobei $E_2 > E_1$ ist. Zwischen den beiden Niveaus sind Quantenübergänge möglich. Bei einem Übergang $E_1 \rightarrow E_2$ wird die elektromagnetische Strahlung absorbiert und bei einem Übergang $E_2 \rightarrow E_1$ emittiert, was in Form von Lichtquanten der Energie $h f = E_2 - E_1$ erfolgt (h *Planck*sche Konstante und f Frequenz). In Materie, die sich im thermischen Gleichgewicht befindet, haben die niedrigen Energieniveaus stets eine höhere Besetzungsdichte als die höheren Energieniveaus. Es gilt die *Boltzmann*-Gleichung $N_2/N_1 = \exp[-(E_2/E_1)/k\,T]$, wobei N_1 und N_2 die Besetzungsdichten sind, die den Energieniveaus E_1 und E_2 entsprechen (T absolute Temperatur, k *Boltzmann*-Konstante).

3) Anregung des aktiven Mediums

Bild 1 zeigt das Termschema eines Drei-Niveau-Systems.

Der Übergang $E_2 \rightarrow E_1$ entspricht der Wellenlänge λ des zu verstärkenden Lichtes. Durch eine Anregung muß eine Überbesetzung $N_2 > N_1$ herbeige-

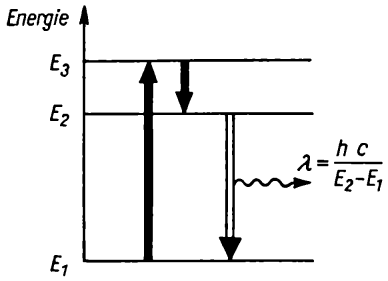


Bild 1. Termschema eines Drei-Niveau-Systems (c Lichtgeschwindigkeit)

führt werden; dazu dient das Hilfsniveau E_3. Der Grundzustand des Systems ist der Zustand E_1; seine Besetzungsdichte ist im thermischen Gleichgewicht größer als bei den Zuständen E_2 und E_3, d. h. $N_1 \gg N_2$ und N_3. Durch eine geeignete Energiezufuhr werden die Übergänge $E_1 \rightarrow E_3$ herbeigeführt. Ist die Zeitkonstante für die spontanen Übergänge $E_3 \rightarrow E_2$ erheblich kleiner als die spontanen Übergänge $E_3 \rightarrow E_1$ und $E_2 \rightarrow E_1$, so werden die nach E_3 angehobenen Atome sehr schnell nach E_2 übergehen und damit die Besetzungszahl N_2 vergrößern. N_3 bleibt dabei klein, so daß weiterhin Übergänge $E_1 \rightarrow E_3$ erfolgen können. Das Niveau E_2 wird auf diesem Wege zu Lasten des Grundniveaus E_1 stärker besetzt, als es dem thermischen Gleichgewicht entspricht. Bei genügender Anregung kann es zu der beabsichtigten Überbesetzung $N_2 > N_1$ kommen und damit zur Verstärkung von Lichtquanten der Energie $h f = h\,c/\lambda = E_2 - E_1$. Zur Gruppe der Drei-Niveau-Systeme gehört z. B. der Rubinlaser.

Für Kohlendioxid-Gaslaser treffen im allgemeinen Termschemata eines Vier-Niveau-Systems zu, s. dazu Bild 2.

4) Prinzipieller Aufbau eines CO_2-Laser

Bild 3 zeigt den Aufbau eines Gas(CO_2)-Lasers Laserrohr (Länge 0,3 bis 1,5 m; Durchmesser 0,1 bis 2 cm), abgeschlossen mit *Brewster*-Fenstern; Gasdruck 10 bis $2 \cdot 10^3$ Pa.

Die Anregung des Gasgemisches zur Erzeugung der Besetzungsinversion erfolgt in elektrischen Gasentladungen (als häufigste Methode), meist axiale, z. T. auch transversale Gleichstromentladungen mit Entladungsströmen bei

- kontinuierlicher Anregung von einigen Milliampere bis 100 A,
- gepulster Anregung von 100 bis 1000 A.

Der CO_2-L. schwingt im mittleren Infrarotbereich ($\approx 10\,\mu m$); damit liegt seine Wellenlänge in einem der am besten durchlässigen atmosphärischen Fenster, mit ihm lassen sich die höchsten kontinuierlichen Laserleistungen (>100 kW) und höchste Frequenzstabilitäten erreichen. [23, 160, 192, 197]

Kohlenstoffabscheidung – *Abscheidung von elementarem Kohlenstoff nach der Reaktionsgleichung* $2\,CO \rightleftharpoons CO_2 + C$. Dieser Reaktionsverlauf ist nach dem *Boudouard*schen* Gleichgewicht im Stabilitätsbereich des CO_2 immer gegeben, wobei die tonigen Anteile keramischer Massen und insbesondere FeO katalytisch wirken können. Beim

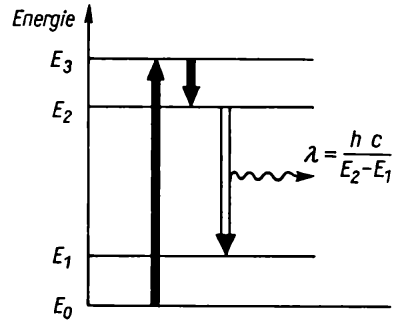


Bild 2. Termschema eines Vier-Niveau-Systems

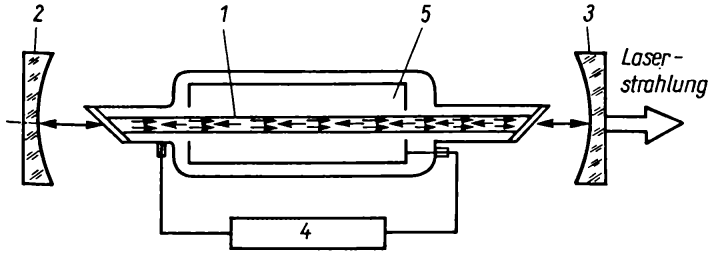


Bild 3. Aufbau des Gaslasers
1 Laserrohr (*l* Länge der aktiven Zone, *d* Durchmesser), abgeschlossen mit den *Brewster*-Fenstern
2 Spiegel des Laserresonators (totalreflektierend)
3 Spiegel des Laserresonators (teildurchlässig, ≈2 bis 30%)
4 Spannungsquelle
5 Gasgemisch

Schamottebrand von Tonen, die etwa mit FeO angereichert sind, muß für Bindung des FeO an andere Oxide gesorgt werden. Beim Porzellanbrand muß der auf dem Scherben abgelagerte Kohlenstoff in einer Periode oxydierenden Feuers (sog. Reinigungsperiode) bei etwa 900 bis 1 100 °C wieder entfernt werden, andernfalls entsteht graues Porzellan, bzw. der Kohlenstoff kann zur Ursache verschiedener Fehler werden. Durch eine spezielle Technologie (z. B. Einblasen von Öl u. a.) kann auch schwarzes Porzellan gewonnen werden.

Kohlenstoff-Erzeugnisse

1) Aus hochkohlenstoffhaltigen Rohstoffen und unter Zusatz von organischen Bindemitteln werden Erzeugnisse, die unter Luftabschluß bei 1 300 bis 1 450 °C gebrannt werden, hergestellt.

An Rohstoffen werden verwendet: natürlicher und synthetischer Graphit*, Koks geringer Reaktionsfähigkeit, Petrolkoks, Hochofenkoks, Anthrazit und als Bindemittel Teer, Asphalt, Pech.

Es werden sowohl geformte Erzeugnisse als auch ungeformte Massen produziert; letztere dienen überwiegend der monolithischen Zustellung* von Schmelzgefäßen. Weitere Anwendungen sind Säurebehälter, Zellstoffkocher u. a. K. E. zeichnen sich durch hohe Säure- und Laugenbeständigkeit, hohe Wärme- und elektrische Leitfähigkeit aus und sind abriebfest. Der Schmelzpunkt der K. E. liegt >5 000 °C, d. h., sie sind praktisch unschmelzbar; ab 4 000 °C tritt jedoch merkliche Verdampfung ein. In oxydierender Atmosphäre können sie höchstens bis 400 °C eingesetzt werden.

2) In den letzten Jahren aufgekommene Technologien haben K. E. neue Einsatzgebiete erschlossen:

- *Pyrokohlenstoff;* er wird aus der thermischen Zersetzung von Methan, Butan u. a. im Zusammenwirken mit einem Trägergas (Argon) im Kontakt mit heißen Oberflächen gewonnen. In der Verwendung liefert er glatte, gasdichte Schutzschichten, z. B. auf Elektrographit-Formkörpern, auf Brennelementen in Hochtemperaturreaktoren u. a.
- *Glasartiger Kohlenstoff;* er wird durch pyrolytische Zersetzung von dreidimensional vernetzten Kunstharzen erhalten. Die Bezeichnung rührt vom glasartigen Bruch der Kristallite her. Werkstoffe auf dieser Basis sind isotrop, gasdicht und weisen nur submikroskopische Poren auf.
- *Kohlenstoff-Fasern* werden durch thermischen Abbau von Cellulose, voroxydiertem Polyacrylnitril u. a. gewonnen. Sie liefern das Ausgangsmaterial für Kohlenstoff-Filze, -wolle, -gewebe, die ein ausgezeichnetes thermisches Isolationsmaterial darstellen (Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}06$ bis $0{,}12\ \mathrm{W\ (m\ K)^{-1}}$).

Eigenschaften einiger Sonderwerkstoffe auf Kohlenstoffbasis (nach *H. Hausner*) sind:

Pyrographitformkörper

$D = 2{,}2\ \mathrm{g\ cm^{-3}}$; $WAK\alpha_{20...200}$ (in $10^{-6}\mathrm{K}^{-1}$) $\| = -0{,}8$, $\perp = +25$; $E = 25$ GPa; $\sigma_D \| = 1$ MPa, $\perp$ + 3,9 MPa; spezifischer elektrischer Widerstand $\| = 5 \cdot 10^{-4}\ \Omega$ cm, $\perp = 0{,}7\ \Omega$ cm.

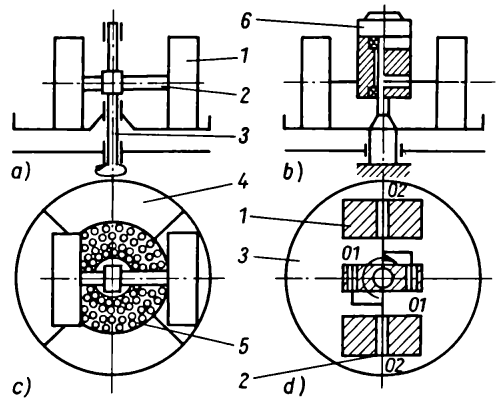
Glasartiger Kohlenstoff

$D = 1{,}55\ \mathrm{g\ cm^{-3}}$; $WAK = 3{,}5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; $E = 25$ GPa; $\sigma_D = 4{,}1$ MPa; spezifischer elektrischer Widerstand $= 5 \cdot 10^{-3}\ \Omega$ cm.

[133]

Kolbenpresse – *s.* Strangformen

Kollergang – *eine Maschine, in der mittels schwerer, rotierender Läufer* (mühlensteinartige Mahlkörper aus Quarzit, Granit, Hartstahl u. a.) *vorzerkleinerte Hartstoffe, wie Feldspat, Quarz, Glattscherben, Schamotte, schwer aufschließbare Tone, zerquetscht und zerrieben werden.* Im wesentlichen werden zwei Grundtypen unterschieden (s. Bild):



Antriebsschema von Kollergängen bei feststehender Mahlbahn

a) Antrieb mittels Königswelle (Zentralwelle)
b) Antrieb mittels Hydraulikmotors (Kreuzkopf)
c) Schema des Mahlguttransportes mit Rost
d) Schema der Mahlkörper-(Koller-)Lagerung

1	Mahlkörper	*4*	Mahlbaum
2	Mahlkörperachse	*5*	Rost
3	Königs-(Zentral-)Welle	*6*	Hydraulikmotor

1) feststehende Mahlbahn, sich um die Königswelle drehende Läufer und

2) feststehende, sich auf der Stelle drehende Läufer auf sich bewegender Mahlbahn.

Von Schabern (Scharrwerken) wird das Mahlgut unter die Läufer transportiert und fällt nach der Zerkleinerung bei kontinuierlichem Betrieb durch die gelochten Mahlbahnplatten bzw. wird zu einer Öffnung in Lauftellermitte gebracht. K. können sich in bezug auf die Anzahl der Läufer und die Breite der Mahlbahn unterscheiden. Der Einsatz erfolgt als Trocken-, Naß- oder Mischkollergang.

Kollodiumpapier – *ein aus fester Papierunterlage und einer Kollodiumschicht bestehendes Papier, auf das ein Schiebebild seitenrichtig aufgedruckt wird.* Vor dem Abziehen des Bildes (Dekors) muß das K. einige Minuten gewässert werden. Die Kollodiumschicht verflüchtigt sich im Brand.
(Kollodium – eine Alkohol-Ether-Lösung von Cellulosenitrat)

Kolloide (griech.: kolla = Leim) – *disperse Systeme;* Aggregate oder Moleküle in der Größenordnung von etwa 10^{-4} bis 10^{-7} cm, d. h., sie setzen sich aus 10^3 bis 10^9 Atomen zusammen und sind in einem Dispersionsmittel verteilt. K. nehmen eine Zwischenstellung zwischen den grobdispersen ($>10^{-4}$ cm) und molekulardispersen ($<10^{-7}$ cm) Systemen ein. Sie können nicht allein durch die Zustandsgrößen Druck, Temperatur und Konzentration beschrieben werden. Ihre Eigenschaften hängen von Größe, Gestalt (Oberfläche) und Struktur der Teilchen ab. Man unterscheidet:

- *Dispersionskolloide* – Systeme, die durch Dispergieren* einer kompakten Phase gewonnen werden. Die Unterteilung nach ihrem Aggregatzustand siehe in der Tabelle.
  Diese Gruppe ist nur begrenzt stabil, als stabilisierende Faktoren können gleichsinnige elektrische Ladung (sog. lyo- bzw. hydrophobe K.) und/oder Solvatation, d. h. Flüssigkeitsadsorption durch die Grenzflächen (sog. lyo- bzw. hydrophile K.) dienen.
- *Assoziationskolloide* (Mizellkolloide) – Systeme, die beim Auflösen molekulardisperser Substanzen in geeigneten Lösungsmitteln oberhalb einer bestimmten Konzentration spontan gebildet werden. Dazu zählen die sog. grenzflächenaktiven Stoffe (z. B. Seifen). Diese Gruppe ist stabil.

Dispersionsmittel	Dispergierte Phase	Bezeichnung	Beispiel
gasförmig	flüssig	Aerosol	Nebel
gasförmig	fest	Aerosol	Rauch
flüssig	gasförmig	Schäume	Gasperlen
flüssig	flüssig	Emulsion	Flüssigkeitsmischungen
flüssig	fest	Sole (Lyosole)	Poliergold, Malergold
fest	gasförmig	feste Schäume	Bimsstein
fest	flüssig	feste Schäume	Kristallisationsflüssigkeit
fest	fest	feste Sole	Goldrubinglas

Tonminerale gehören nach ihrer Teilchengröße nur z. T. zu Kolloiden, ihr Verhalten entspricht jedoch in hohem Maße dem der K. Hydrophil verhalten sich insbesondere die Hydroxide des Eisens, Aluminiums, Chroms, von den Säuren: Kieselsäure, Zinnsäure u. a.
Hydrophobes Verhalten zeigen u. a. viele Metalle und Sulfide (ZnS, As_2S_3, NiS). [2, 42, 155, 156]
s. Flockung

Kolloidmühlen – *s.* Naßrotormühlen

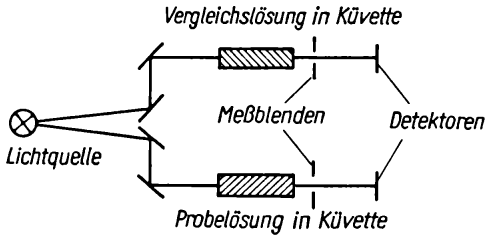
Kolonne (lat.: columna = Säule) – *aus mehreren Hohlzylindern aufgebaute turm- oder säulenförmige Apparatur zur thermischen Trennung von Stoffgemischen und Sorptionen.* K. sind mit verschiedenen Einbauten zur Intensivierung der Prozesse versehen.
s. Füllkörperkolonne

Kolonnenelevator (lat.: elevare = emporheben) – *unstetiger, ortsfester Senkrechtförderer zum Heben und Senken von Formlingen durch mehrere Etagen.* Die Formlinge werden von Absetzwagen übernommen und an Flurförderer abgegeben. Die Bezeichnung K. bezieht sich auf die kolonnenartige Anordnung der Formlinge.

Kolorimetrie (lat.: color = Farbe) – *Verfahren zur Konzentrationsbestimmung färbender Substanzen* in einem nichtabsorbierenden Lösungsmittel durch Vergleich mit einer zweiten Lösung bekannter Konzentration.
Das Meßprinzip besteht darin, daß man die durchstrahlte Schichtdicke d_x einer Lösung unbekannter

Konzentration c_x variiert, bis sich die gleichen Farbäquivalente wie bei der zweiten Lösung bekannter Konzentration c_v und Schichtdicke d_v einstellen.

Wie aus dem Bild ersichtlich, schickt man beim



Kolorimeter (Zweistrahlverfahren)

sog. Zweistrahlverfahren, ausgehend von einer Lichtquelle, über Spiegel und Linsensysteme je einen Lichtstrahl durch eine Vergleichslösung und eine Probelösung und von dort auf zwei Detektoren. Die aus beiden Küvetten mit gleicher Farbe austretenden Lichtstrahlen haben die Intensitäten I_v und I_x. Diese beiden Intensitäten werden nun mit optischen Mitteln abgeglichen, z.B. durch Einführung eines Graukeils oder bei Verwendung von *Nicol*schen Prismen* eine spezifische Schwächung durch Verstellen von Polarisationsebene und Analysatorebene. Unter der Voraussetzung der Gültigkeit des *Lambert-Beer*schen Gesetzes

$$I_0/I = \exp(-k\,c\,d)$$

I_0 die ins Medium eintretende Strahlung
I die austretende Strahlung
d Schichtdicke
c molare Konzentration
k molarer Extinktionskoeffizient,

d. h., daß die chemische Zusammensetzung der Lösungen immer die gleiche bleibt und k damit von der Konzentration c unabhängig ist, ergibt sich dann aus dem Verhältnis

$$c_x = c_v(d_v/d_x)$$

die unbekannte Konzentration.

Kolorimetrische Verfahren haben in der Silicatanalyse eine breite Anwendung gefunden, da einmal praktisch alle Kationen und Anionen, die sich direkt oder indirekt durch eine Farbreaktion charakterisieren lassen, erfaßt werden, und zum anderen liefern moderne Geräte sehr schnell und ohne langwierige Trennungsgänge Ergebnisse mit hoher Genauigkeit.

Kompensator (lat.: compensare = ausgleichen) – *optische Vorrichtung zur Kompensation von Gangunterschieden.* K. erzeugen durch Phasenverschiebung einen meßbaren Gangunterschied von der gleichen Größe, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen wie der durch Doppelbrechung hervorgerufene. Zu den K. zählen Gips Rot 1. Ordnung (Lambda-Plättchen), Lambda-Viertel-Plättchen u. a. K. werden z. B. in der Kristallanalyse zur Bestimmung des optischen Charakters der Kristalle herangezogen.

Kompositwerkstoffe (lat.: componere, Partizip: compositum = zusammengelegt) – *Kombination zweier oder mehrerer nach Form und Eigenschaften verschiedenartiger Stoffe mit deutlichen Phasengrenzen,* wobei jede Einzelkomponente zum Eigenschaftsbild des Gesamtwerkstoffes beiträgt und dieser bessere Eigenschaften besitzt, als die Einzelkomponenten für sich für den vorgesehenen Zweck aufweisen würden.

K. werden nach ihrer Geometrie zweckmäßig unterteilt in

- Flächen-K., wie z. B. Metall-Email-Komposite, und
- Volumen- oder Kompakt-K., die noch in Partikel-K. (z. B. Cermets*) und Faser-K. (z. B. faserverstärkte Werkstoffe*) unterteilt werden können.

In der Literatur werden für den Begriff K. häufig noch die Bezeichnungen Verbundwerkstoffe und kombinierte Werkstoffe synonym verwendet. Nach einem Vorschlag von *Petzold* [144] sollte der Begriff Verbundwerkstoff nur auf Systeme beschränkt werden, in denen das Kornhaufwerk durch eine Bindephase zum kompakten Körper verbunden wird, wie z.B. Schleifkörper*, hoch-graphit- oder hoch-SiC-haltige Werkstoffe u. a.

Kompressibilität (lat.: comprimere = zusammendrücken) – *Zusammendrückbarkeit,* Eigenschaft der Körper, unter Einwirkung von Druckkräften ihr Volumen zu verringern.

Steht ein Körper unter isotropem Druck, so spricht man von *kubischer K.* Die isotherme kubische K. ist definiert als die auf das vorliegende Volumen bezogene Volumenänderung je Druckänderung bei konstanter Temperatur:

$$\varkappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$$

V Volumen
p statischer Druck.

Das negative Vorzeichen soll andeuten, daß das Volumen mit steigendem Druck abnimmt.
Der reziproke Wert von $\varkappa$ heißt *Kompressionsmodul K.* Zwischen der K. $\varkappa$, dem isobaren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α und dem isochoren Spannungskoeffizienten β besteht aufgrund der thermischen Zustandsgleichung die Beziehung

$$\varkappa = \alpha/(p\,\beta).$$

s. Elastizitätskonstante

Kondensation (lat.: condensus = dicht gedrängt)
Physikalische K. – Übergang eines Dampfes oder Gases in den flüssigen oder festen Aggregatzustand durch Abkühlung oder durch gleichzeitige Abkühlung und Kompression. Die dabei frei werdende Kondensationswärme ist ihrer Größe nach gleich der Verdampfungs- und Sublimationswärme. K. kann bei entsprechender Temperatur und Druck nur eintreten, wenn schon kondensierte Phase oder Kondensationskeime (Staub, Kristalle, Ionen) vorhanden sind, andernfalls tritt Kondensationsverzug ein.
Chemische K. – Vereinigung von zwei Molekülen zu einem größeren Molekül unter Austritt eines chemisch einfachen Stoffes (meist Wasser). [2]

Kondensator (lat.: condensare = verdichten) – *elektrisches und elektronisches Bauelement, manchmal auch ungenau Kapazität genannt, das in seiner Grundform aus zwei durch ein Dielektrikum voneinander getrennten Metallelektroden besteht und zur Speicherung elektrischer Ladungen dient.*
Für Gleichstrom bildet ein K. einen großen Widerstand (praktisch eine Unterbrechung), bei zeitlich veränderlicher Spannung bzw. Stromstärke fließt ein sog. Verschiebungsstrom im Dielektrikum weiter, d. h., der K. lädt sich auf und entlädt sich.
Zur Charakterisierung eines K. werden insbesondere herangezogen:
- Die Kapazität C; sie ist gegeben durch

$$C = Q/U$$

Q Ladungsmenge
U Spannung
bzw. für einen Plattenkondensator durch

$$C = \varepsilon_0\,\varepsilon_r\,A/d$$

ε_0 absolute Dielektrizitätskonstante = Permittivität ($8{,}854 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F\,m^{-1}}$)
ε_r relative Dielektrizitätskonstante = Dielektrizitätszahl
A Fläche der Platte
d Dicke der Platte.

- Die Dielektrizitätszahl ε_r, eine Materialeigenschaft; sie repräsentiert das Verhältnis der durch Einbringen eines Dielektrikums vermehrten Kapazität eines Kondensators zu seiner Kapazität im Vakuum,

$$\varepsilon_r = C/C_0$$

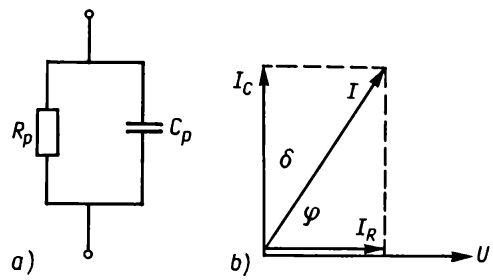
C_0 Kapazität des K. »im Vakuum«.

- Der dielektrische Verlustfaktor $\tan\delta$; jeder K. wirkt gleichzeitig infolge seiner (geringen) Leitfähigkeit des Materials als Widerstand. Für den Leitungsstrom gilt:

$I_R = U/R$ und für den Ladestrom

$$I_C = U\,2\pi\,f\,C$$

f Frequenz,
s. Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm.



a) Ersatzschaltbild *b)* Zeigerdiagramm

Es gilt für den Verlustfaktor $\tan\delta$:
$\tan\delta = I_R/I_C = 1/R\;2\pi f\,C = 1/C_p\,R_p\,\omega$

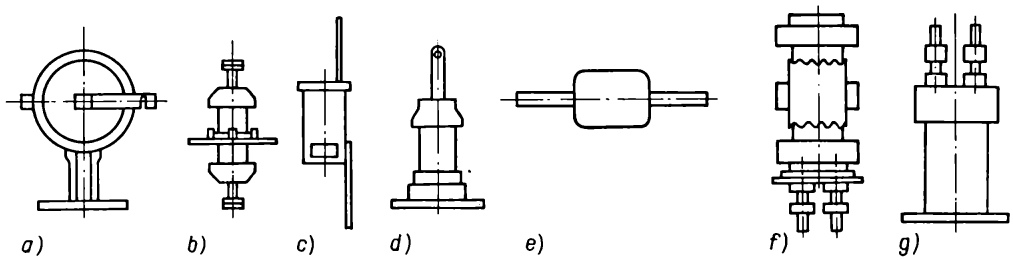
ω Kreisfrequenz.

- Der Temperaturkoeffizient der Kapazität TK_C bzw. TK_ε; er stellt ein besonderes Auswahlkriterium für ein Dielektrikum dar. Ist die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätszahl linear, gilt:

$$TK_\varepsilon = \Delta\varepsilon_r/\varepsilon_{ro}\,\Delta\vartheta$$

TK_ε Temperaturkoeffizient der Dielektrizitätszahl
ε_{ro} Dielektrizitätszahl bei Bezugstemperatur
$\Delta\varepsilon_r$ Änderung der Dielektrizitätszahl bei der Temperaturänderung ϑ zur Bezugstemperatur.

Bei Vernachlässigung der thermisch bedingten Geometrieänderung der K. ist der Temperatur-



Typen von Leistungskondensatoren
a) Plattenkondensator
b) Rohrdurchführungskondensator
c) Rohrkondensator
d) Topfkondensator
e) Tonnenkondensator
f, g) wassergekühlte Hochleistungskondensatoren

koeffizient der Kapazität TK_C mit dem der Dielektrizitätszahl identisch, es gilt dann

$$TK_C = \Delta C / C_0 \, \Delta\vartheta$$

C_0 Kapazität bei Bezugstemperatur.

– Die Spannungsabhängigkeit; s. Ferroelektrika.

K. werden als diskrete Bauelemente je nach den elektrischen Anforderungen in verschiedenen Bauformen und mit verschiedenen dielektrischen Stoffen gefertigt. In integrierten Schaltungen bilden sie eine funktionelle Einheit und werden z. B. nach Verfahren der Schichttechnik* hergestellt. Ein in der Hybridtechnik verwendeter K. ist der Vielschichtkondensator*. [174, 185, 239]

Kondensatoren, keramische – *mit keramischen Werkstoffen als Dielektrikum ausgerüstete Kondensatoren, wobei die Elektroden aus aufgetragenen und eingebrannten Metallschichten bestehen.*

K. K. werden als Kleinkondensatoren (Rohr-, Scheiben-, Folien- und Durchführungskondensatoren), als Trimmer* und als Leistungskondensatoren (Platten-, Topf-, Durchführungs-, Rohr- und Tonnenkondensatoren) ausgeführt (s. Bild). Je nach Ausführungsart erfolgt ein Oberflächenschutz durch Lackierung oder Umhüllung. Entsprechend der chemischen Zusammensetzung und dem elektrischen Verhalten des Dielektrikums werden unterschieden:

1) NDK-Kondensatoren (Niedrige Dielektrizitäts-Konstante entsprechend Typ I nach IEC 108; s. nebenstehende Bilder)

Das Dielektrikum ist meist auf Titandioxid-Basis aufgebaut ($\varepsilon < 1000$, meist <100). Sie zeichnen sich aus durch hohe Kapazitätsstabilität, geringe Verluste, auch bei hohen Frequenzen, hohen Isolationswiderstand, durch Spannungsunabhängigkeit und eine weitgehend lineare, reversible positive oder negative Abhängigkeit der Kapazität von der Temperatur (s. Tabelle).

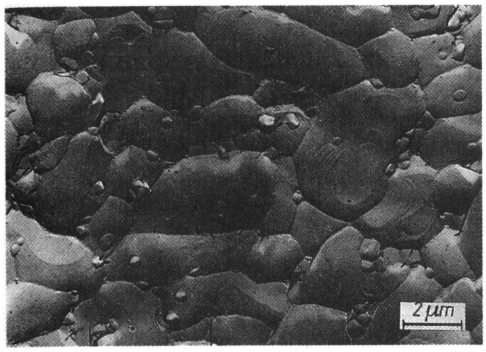
Anwendung: zur Temperaturkompensation bei Schwingkreisen und Filtern, zur Kopplung und Entkopplung, besonders in HF-Kreisen

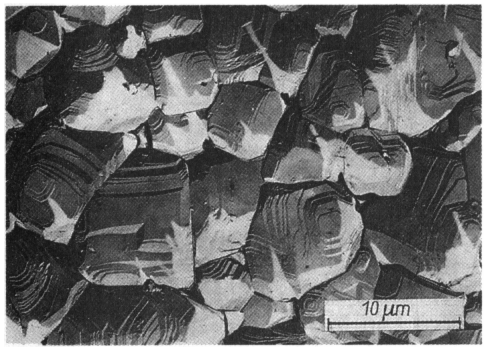
2) HDK-Kondensatoren (Hohe Dielektrizitäts-Konstante entsprechend Typ II nach IEC 188)

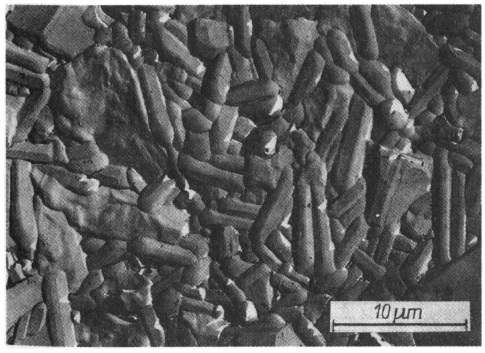
Das Dielektrikum ist meist auf der Basis von Erd-

Dielektrische Eigenschaften einiger NDK-Werkstoffe

Werkstofftyp	KER 221	KER 320	KER 330	KER 340
Bezeichnung nach IEC	P 100	P 100	NPO	N 1500
Dielektrizitätskonstante	6,5	19	39	160
Temperaturbeiwert α_C in $10^{-6}\,K^{-1}$	+100	+100	0	−1500
Verlustfaktor bei 1 MHz, 20 °C			$\leqq 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	
Isolationswiderstand bei 20 °C (in Ω)			$10^{10} \ldots 10^{12}$	
Werkstoffbasis	$MgSiO_3$	$MgTiO_3$	$BaO \cdot n\,TiO_2$	$CaTiO_3$







Elektronenmikroskopische Aufnahmen von NDK-Werkstoffen
a) Werkstoffbasis $MgSiO_3$, nach KER 221 bzw. P 100
b) Werkstoffbasis $Ba_2Ti_9O_{20}$, nach KER 330 bzw. NPO
c) Werkstoffbasis $CaTiO_3$, nach KER 340 bzw. N 1500

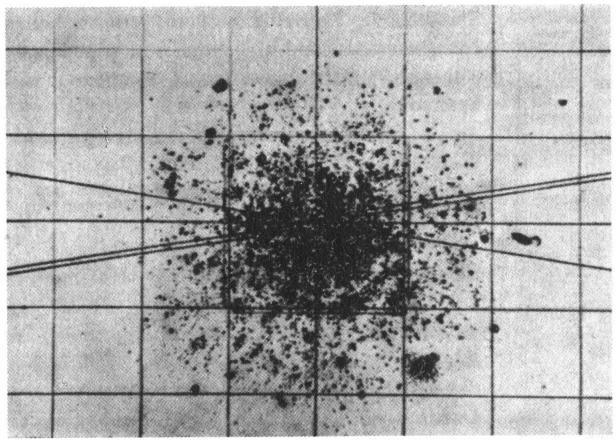
alkali-Titanaten ($\varepsilon > 1000$) aufgebaut. Die Kondensatoren sind gekennzeichnet durch große Kapazitäten bei kleinen Abmessungen, geringe Stabilität der Kapazität, größere Verluste, hohen Isolationswiderstand und durch eine nichtlineare Abhängigkeit der Kapazität von Temperatur und Spannung.
Anwendung: Wenn geringe Abmessungen erforderlich sind; zur Kopplung und Siebung, sofern etwas höhere Verluste keine Rolle spielen.
[174, 239, 403, 404]
s. Schichtkondensatoren, Ferroelektrika

Kondensor (lat.: condensare = verdichten) – *Vorrichtung an optischen Instrumenten, die die Aufgabe hat, das von einer Lichtquelle ausgehende Licht möglichst vollständig zu erfassen und so zu lenken, daß das Gesichtsfeld gleichmäßig ausgeleuchtet wird.* Dadurch wird gewährleistet, daß das Bild relativ verlustlos das Objektiv passiert und zur Auffangebene gelangt. Werden Glühlampen als Lichtquelle verwendet, so erzeugt der Linsen-Kondensor eine reelle Abbildung der Glühwendel im Objektiv, wobei die Größe des Wendelbildes der Glühlampe und die freie Öffnung des Objektives übereinstimmen sollten. Bei Lichtmikroskopen bedient man sich oft einer Kombination von Linsen- und Spiegelkondensor. Beim Elektronenmikroskop befindet sich der Kondensor in Form einer Elektronenlinse zwischen Strahlenerzeuger und Objekt mit einem für Elektronenbündel kleinen Öffnungswinkel.

Konimeter (griech.: konia = Staub) – *Gerät zur größen- und zahlenmäßigen Bestimmung des Staubgehaltes der Luft.* Ein K. besteht im wesentlichen aus Luftpumpe, Ansaugstutzen, Handmikroskop und drehbarer Objektscheibe. Beim Meßvorgang wird mit der Luftpumpe eine abgemessene Luftprobe angesaugt. Die in ihr befindlichen Staubteilchen fliegen mit hoher Geschwindigkeit durch die Lufteintrittsdüse und prallen auf die Objektscheibe. Damit sie sich nicht wieder ablösen und vom Luftstrom weitergetragen werden, wird die Scheibe mit einem Klebemittel (Staubbinder) bestrichen. Mit Hilfe verschiedener Auswertungsverfahren gibt der entstandene Staubfleck (s. Bild S. 258) Aufschluß über den Staubgehalt der Luft.

Konjugationslinie (lat.: coniugare = verknüpfen) – *s.* Systeme, binäre

Konode (lat.: con = zusammen) – *isotherme Linien in einem Zustandsdiagramm.* Sie zeigen an, welche Phasen bei einer bestimmten Temperatur im Gleichgewicht stehen, welche Konzentration diese Phasen aufweisen und in welcher Menge sie



Staubfleck

vorliegen (Hebelbeziehung, *s.* Systeme, binäre). [238]

Konoskop (lat.: conus = Kegel) – *s.* Polarisationsmikroskop

Konsistenz (lat.: consistere = nicht mehr fließen) – *in der Rheologie gebräuchliche Graduierung der Steifigkeit einer Substanz gegenüber formändernden Einflüssen,* z. B. flüssig, zähflüssig, sahneartig, weich, fett usw.

Konsistometer – *Gerät zur Bestimmung rheologischer Eigenschaften,* wie Viskosität*, Bildsamkeit*, Dilatanz*, Thixotropie* u. a. K. dienen insbesondere zur Aufnahme von Fließkurven. Die meisten Geräte arbeiten nach dem Prinzip steigender Belastung des Untersuchungsmaterials und registrieren die Formänderungsarbeit bzw. die Geschwindigkeit der Formänderung.
s. Viskosimeter

Konstruktionskeramik (lat.: construere = zusammenfügen) – *Teilgebiet der Keramik*, das Werkstoffe und daraus gefertigte Erzeugnisse umfaßt, für die hohe mechanische Festigkeiten bei gleichzeitiger thermischer Beanspruchung die bestimmenden Kriterien darstellen;* im engeren Sinne bezieht sich K. auf Hochtemperaturkeramik für Verbrennungskraftmaschinen, im weiteren Sinne zählen noch die Maschinenbaukeramik*, die Schneidkeramik* und die Schleifkeramik* dazu.
Aus den Belastungen, die K. ausgesetzt ist, resultieren hohe Forderungen in bezug auf mechanische Festigkeit, linear-elastisches Spannungs-Dehnungsverhalten in einem Temperaturbereich, der mindestens ⅔ des Anwendungsbereiches entspricht, Stabilität, Gasdichtigkeit/ Porosität, Härte, Reinheit und Verfügbarkeit/Preis.
Die wichtigsten Werkstoffgruppen sind:

– Aluminiumoxid Al_2O_3 mit Reinheiten >99 % (KER 708, 710 nach TGL 7838 bzw. DIN 40 685)	A
– Zirconiumdioxid	
teilstabilisiertes ZrO_2 mit Zusätzen von MgO, CaO, Y_2O_3	PSZ
tetragonales polykristallines ZrO_2	TZP
– Siliciumnitrid	
reaktionsgebundenes Si_3N_4	RBSN
gesintertes Si_3N_4 mit Zusätzen	SSN
heißgepreßtes Si_3N_4 mit Zusätzen	HPSN
– Siliciumcarbid	
infiltriertes SiC mit metall. Si	SiSiC
gesintertes SiC mit geringen Zusätzen	SSiC

Weiter sind von Bedeutung: Tialit* (AlTi), Magnesiumaluminiumsilicat* (MAS), Lithiumaluminiumsilicat* (LAS), Borcarbid*, Graphit*, Diamant* u. a. [221, 320, 392, 393, 398, 399]

Kontaktwerkstoffe – *Gruppe von Werkstoffen, die zur Herstellung von elektrischen Kontakten dienen.* Als solche haben sie die Aufgabe, einen Stromkreis zu schließen, für eine bestimmte Zeit die Stromleitung zu übernehmen, geschlossene Stromkreise wieder zu öffnen und damit den Strom zu unterbrechen. Nach einer größeren Zahl von Schaltzyklen darf der Kontaktwerkstoff seine Wirkungsweise nicht verändern. Er ist den verschiedensten Beanspruchungen ausgesetzt; gefordert werden gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, hohe Härte, Zugfestigkeit und Korro-

sionsbeständigkeit und schließlich gute Bearbeitbarkeit. Man kennt K. auf
- Silberbasis (Ag-Cu, Ag-Metalloxid, Ag-Graphit u. a.),
- Goldbasis (Au-Ni, Au-Co u. a.),
- Platinbasis,
- Kupferbasis, Kupferverbundwerkstoffe,
- Graphitbasis.

[409]

s. Pulvermetallurgie

Kontrafuß (Steg, lat.: contra = gegen) *ein offener oder geschlossener Stützfuß im Zentrum des Bodens* eines großflächigen keramischen Gegenstandes (meist bei Flachgeschirr), um eine Bodendeformation während des Brennens zu verhindern.

Koordinationszahl (*KZ*; lat.: co-ordinare = in einer Reihe anstellen) – *Anzahl der vom Zentralatom/-ion gleich weit entfernten und gleichwertigen Nachbaratome/-ionen,* die durch die relative Größe der Wirkungssphären der Atome/Ionen bestimmt ist. In Kristallstrukturen treten hauptsächlich die *KZ* 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 auf. Bei Erhöhung der *KZ* erhöht sich der Wirkungsradius um einige Prozent und umgekehrt, deshalb beziehen sich Zahlenangaben für Ionenradien stets auf die *KZ* 6 (andernfalls muß das besonders vermerkt werden). (s. Bild)

Kopenhagener Porzellanmanufaktur – eine 1760 als *„Fabrik am blauen Turm"* gegründete Manufaktur, die zunächst Weichporzellan herstellte und nach französischem Vorbild produzierte. Dreizehn Jahre später wurde Hartporzellan entwickelt. Von 1779 an war der Betrieb staatlich (*„Königlich Dänische Porzellanfabrik"*), seit 1867 befindet er sich in Privatbesitz. Die Glanzzeit der Manufaktur lag in den 80er Jahren des 18. Jh. Nach einem Niedergang im 19. Jh. kam es um 1900 mit der Erneuerung der Unterglasurmalerei zu einem künstlerischen Aufschwung (Marken: ab 1775 drei parallele Wellenlinien bzw. Wellenlinien mit Krone; s. Bild).

Fabrikmarke der Kopenhagener Porzellanmanufaktur

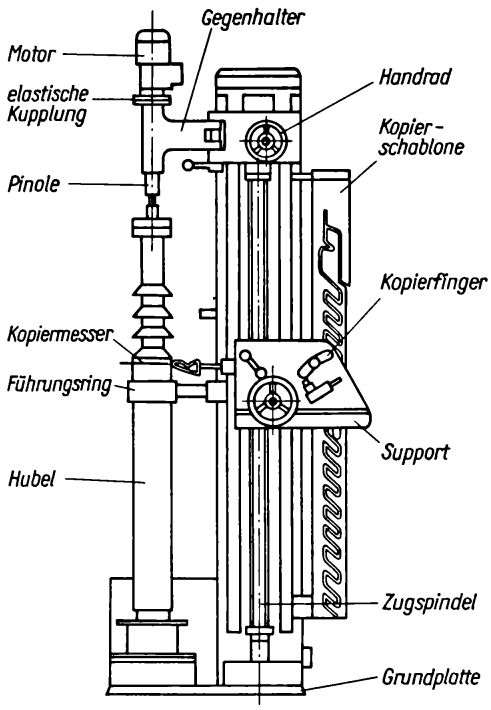
Als sog. *Kopenhagener Malerei* wird die seit 1885 an der Königlichen Porzellanmanufaktur Kopenhagen entwickelte vielseitige Dekoration bezeichnet. Bevorzugt werden flächige Motive (Untergla-

Koordinationszahl	Koordinationsformen	Radienverhältnis $R_Z : O$	Gittertyp (Beispiel)	Beispiel der Sauerstoffkoordination	
[3]	Dreieck	0,155 ··· 0,255	BN-Typ	$[NO_3]^{1-}$ $[CO_3]^{2-}$ $[BO_3]^{3-}$	Anion
[4]	Tetraeder	0,255 ··· 0,414	BeO-Typ	$[SO_4]^{2-}$ $[CrO_4]^{2-}$ $[WO_4]^{2-}$ $[PO_4]^{3-}$ $[AsO_4]^{3-}$ $[VO_4]^{3-}$ $[SiO_4]^{4-}$ $[AlO_4]^{5-}$	Anion
[6]	Oktaeder	0,414 ··· 0,732	NaCl-Typ	AlO_6 MgO_6 SbO_6 TiO_6 LiO_6 NbO_6	Kation
[8]	Hexaeder	0,732 ··· < 1	CsCl-Typ	NaO_8 CaO_8 CeO_8 PbO_8	Kation
[12]	Kubooktaeder	≈1	Cu-Typ	KO_{12} RbO_{12} CsO_{12}	Kation

Die wichtigsten Koordinationen, ihre graphische Darstellung und Beispiele ihres Auftretens

surfarben, Farblösungen, Spritzfond) mit charakteristisch verlaufenden Konturen und harmonischem Zusammenklang der oft stumpfen, gebrochenen Farbtöne. Vorwiegend großflächige Plastiken, besonders Tierplastiken, werden in dieser Art dekoriert.

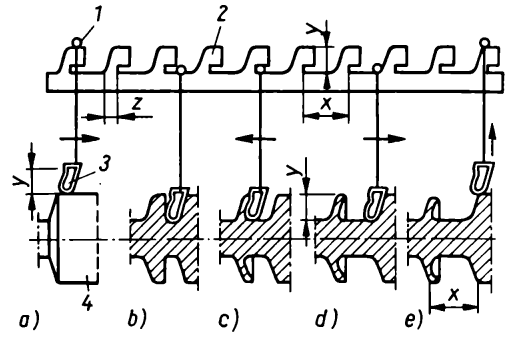
Kopierdrehmaschine – *Aggregat zum mechanisierten bzw. automatisierten Abdrehen* von einem oder gleichzeitig mehreren Isolierkörpern aus vorgeformten Hubeln.* Den prinzipiellen Aufbau einer Senkrecht-K. zeigt das folgende Bild.



Automatische Senkrecht-Kopierdrehmaschine K/DKSA

Die Maschine besteht aus einem festen Unterteil, der Antrieb und Planscheibe enthält. Das Drehmaschinenbett befindet sich an einer Säule. In der Führung für den Support ist eine Gewindespindel angebracht, die über eine Schloßmutter den Support bewegt. Zur Führung des Kopiermessers wird mit Hilfe eines Kopierfingers die außen an der Säule befestigte Stahlleitschablone abgetastet. Der verstellbare Gegenhalter spannt durch eine Pinole den zum Abdrehen eingespannten Hubel. In der Mitte der Säule befindet sich ein Schirmhalter, der ein Abkippen des Formlings verhindern soll.

Die Kopiervorrichtung kann im einfachsten Falle von zwei Handrädern vertikal und horizontal bewegt werden. Das Kopiermesser ist als profilierte Schlinge ausgebildet. Die unterschiedlichen Arbeitsgänge beim Kopieren eines Langstabisolators mit Leitschablone und Formdrehstahl sind nach [39 und 127] im folgenden Bild dargestellt.



Arbeitsgänge beim Kopieren eines Schirmes von einem Langstabisolator, Bewegungsrichtung des Supports:
a) und *e*) beim Kopieren der Schirmoberseite
b) beim Einstechen in den Hubel und Kopieren der Schirmunterseite
c) beim Kopieren des Strunkes
d) bei der Formung der nächsten Schirmoberseite
1 Kopierfinger *3* Formdrehstahl
2 Leitschablone *4* Hubel

Bei neueren Entwicklungen ist die Stahlblechschablone durch abzutastende Zeichnungen ersetzt. Die Bewegungen der Supporte werden durch hydraulische Steuerungen besorgt. Andere Entwicklungen weisen eine fotoelektrisch gesteuerte Abtastung auf. Es sind auch karussellartige Aggregate im Einsatz, bei denen 10 und mehr Hubel in einer Art Fließlinie aufgenommen, kopiert, verschwammt und abgegeben werden. [39, 158]

Kopräzipitation (lat.: com = zusammen; praecipitare = herabfallen)
s. Mischfällung

Korbflechtband – eine Reliefverzierung auf der Tellerfahne in Form eines geflochtenen Weidenkorbmusters.

Korndurchmesser
1) äquivalenter K.
Bezeichnung für die Durchmesser von Kugeln, die entweder das gleiche Volumen, die gleiche Ober-

fläche oder die gleiche Endfallgeschwindigkeit in einem Medium wie das entsprechende unregelmäßig geformte Korn haben. Man erhält

– über das Volumen V

$$d_V = \sqrt[3]{\frac{6\,V}{\pi}}\,,$$

– über die Oberfläche A

$$d_A = \sqrt{\frac{A}{\pi}}\,,$$

– über die Endfallgeschwindigkeit v_m

$$d_F = \frac{3\,c\,\varrho\,v_m^2}{4\,g(\gamma - \varrho)}$$

γ Dichte des Kornes
ϱ Dichte des Mediums
g Schwerebeschleunigung
c f(Re) Widerstandszahl.

Im Gültigkeitsbereich des Widerstandsgesetzes von *Stokes* ($Re \leqq 0{,}6$) gilt $c\,Re = 24$.

2) mittlerer K.

Man hüllt das Korn von einem rechtwinkligen Parallelepiped (Parallelflächner) ein, der mittlere Korndurchmesser d kann dann definiert sein:

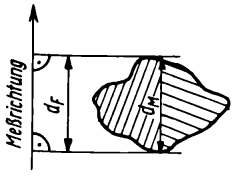
$$d = b;\quad d = \frac{a+b}{2};\quad d = \frac{a+b+c}{3};$$

$$d = \sqrt{a\,b}\,;\quad d = \sqrt[3]{a\,b\,c}$$

a lange
b mittlere
c kurze
} Hauptabmessung des einhüllenden Parallelepipedes.

3) statistischer K.

Bei der mikroskopischen Analyse verwendet man den statistischen K. d_F nach *Feret* (s. Bild) als den



Statistischer Korndurchmesser, nach *Feret* und *Martin*

Abstand zweier Tangenten an die Kornprojektionsfläche senkrecht zur Meßrichtung und den statistischen K. d_M nach *Martin* als die Länge der Strecke, die parallel zur Meßrichtung die Projektionsfläche in zwei gleiche Hälften teilt.

Korngrenze – fehlgeordnete Grenzschicht an der Oberfläche eines Kornes von flüssigkeitsähnlichem Charakter (sog. *Beilby-Schicht*). Die Dicke der K. beträgt etwa 1 bis 3 Gitterabstände.

Korngrößenkennwerte – *Angaben zur Charakterisierung eines Körnerkollektivs.* Die wichtigsten K. sind:

- die häufigste Korngröße, d.h. das Maximum der Korngrößenverteilungsdichte,
- Halbwertskorngröße oder die Korngröße in der Summenkennlinie, für die der Siebdurchgang (Siebrückstand) 50 % beträgt, d. h., ein Körnerkollektiv wird in zwei gleich große Masseanteile geteilt,
- arithmetische mittlere Korngröße, die das gewogene arithmetische Mittel der einzelnen Klassenmittelwerte darstellt.

Korngrößenmessung durch Zählmethoden – *Verfahren zur Erfassung der Anzahl oder Volumina der Körner aufbereiteter Massen und Glasuren durch volumenäquivalente Widerstandsänderungen oder Streuung der Lichtintensität.*

Man unterscheidet:

1) Streulichtzähler (Meßbereich 2 bis 10 µm)

Die Teilchen bewegen sich möglichst einzeln durch ein definiert beleuchtetes Meßvolumen. Man zählt die Teilchen (Mengenart) jeweils gleicher Streulichtintensität (Dispersitätsgröße). Moderne Verfahren arbeiten mit Laserstrahl und Beugungsspektrometer und erfassen einen Korngrößenbereich von ≈0,7 bis 1 600 µm.

2) Impulszähler (Meßbereich 2 bis 100 µm)

Die Teilchen sind in sehr geringer Konzentration in einer elektrolytischen Flüssigkeit suspendiert und fließen durch eine Mikrobohrung (Düse) aus einem ersten in ein zweites Gefäß. Befindet sich in jedem Gefäß eine Elektrode, so stellt die Flüssigkeitssäule in der Kapillare die einzige elektrische Verbindung dar zwischen beiden Räumen mit einer sehr hohen Dichte elektrischer Feldlinien. Die dort durch Teilchendurchgänge verursachte Widerstandsänderung kann als Spannungsimpuls erfaßt werden. Dieser Impuls ist den Teilchenvolumen proportional. Auf diesem Prinzip beruhen z. B. *Coulter**-Teilchenzählgeräte. [117]

Korngrößenmeßtechnik – *Zusammenfassender Begriff für die verschiedenen Methoden zur Erfassung der Eigenschaften pulverförmiger Teilchen hinsichtlich Korngröße und Kornoberfläche.*

Allgemein lassen sich von der „Körnigkeit" der fe-

sten Materie vielfältige Eigenschaften ableiten. In der Keramik sind Kenntnisse über diesen Zustand von entscheidender Bedeutung. So liegen die keramischen Rohstoffe als Pulver* vor, auf dessen Charakter die gesamte Technologie abzustimmen ist, was schließlich die technischen Parameter der keramischen Erzeugnisse bedingt. Deshalb ist die K. immanenter Bestandteil der keramischen Kontrolltechnologie und Forschung. Entsprechend ist sie heute ausgebaut und entwickelt. Eine Übersicht über die Arbeitsbereiche der K. will das folgende Bild geben.

Die Korngrößenanalyse beschreibt den Zustand der Teilchen hinsichtlich der Teilchengröße, -form, -verteilung und in bestimmten Grenzen auch der Oberfläche. Jedoch können die Meßwerte verschiedener Meßverfahren nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden; die Ursache liegt in der Bewertung unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften. Entscheidend ist die Anpassung an Zusammensetzung und Beschaffenheit des zu untersuchenden Haufwerkes bei ausreichender Reproduzierbarkeit. Von Bedeutung sind:

- Probennahme,
- Probenvorbereitung,
- eigentliche Korngrößenanalyse,
- Meßwertdarstellung

[117, 118]

s. BET

Korngrößenverteilung

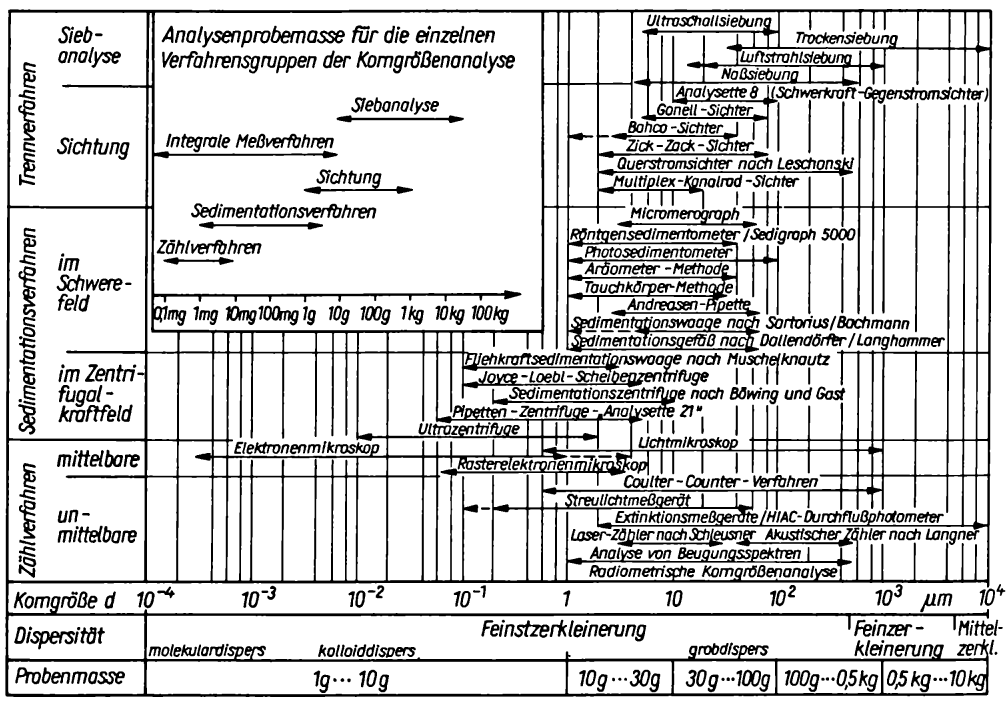
Zur anschaulichen Darstellung von K. werden benutzt:

1) Korngrößenverteilungsdichte – in einem Koordinatensystem, dessen Abszisse linear nach der Korngröße geteilt ist, werden auf der Ordinate die relativen Häufigkeiten aufgetragen, d. h.

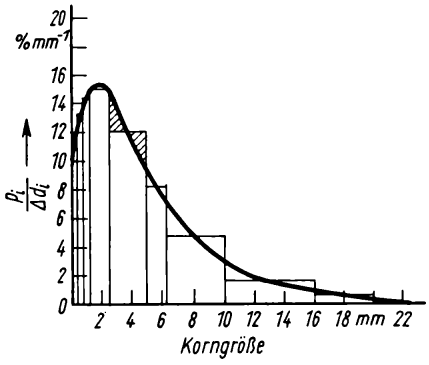
$$\frac{p_i}{\Delta d_i} = \frac{\text{Masseanteile der Korngröße}}{\text{Klassenbreite}} \text{ (in \% mm}^{-1}\text{)}.$$

Man erhält ein Stufendiagramm bzw. durch Flächenausgleich einen stetigen Linienzug (s. Bild S. 263 oben).

2) Korngrößenverteilungsfunktion (Summenkenn-

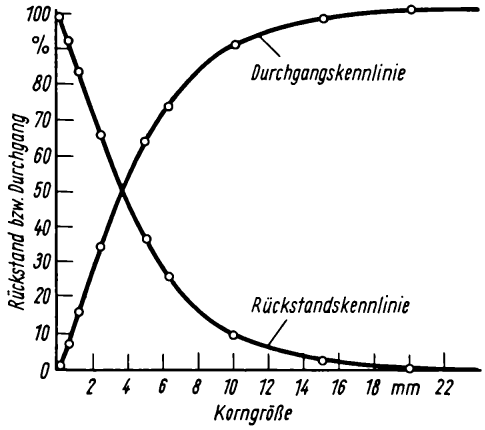


Meßbereiche der Verfahren zur Korngrößenanalyse und Orientierungwerte für die erforderliche Probenmasse, nach *Höfft*



Korngrößenverteilungsdichte

linie bzw. Rückstands- und Durchgangskennlinie) – die Abszisse ist linear nach der Korngröße geteilt, auf der Ordinate werden Rückstand bzw. Durchgang in % aufgetragen (s. Bild).



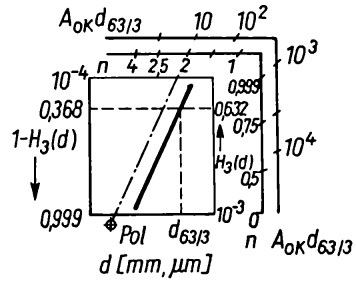
Summenkennlinien (Rückstands- und Durchgangskennlinie)

3) *Rosin-Rammler-Sperling*-Verteilung – mathematisch definierte Darstellung einer Korngrößenverteilung verschiedener feingemahlener Produkte, die in der Schreibweise von *Benett* für die Rückstandskennlinie lautet:

$$R = 100 \exp\left[-\left(\frac{d}{d'}\right)^n\right]$$

R Rückstand (in %)
d Korngröße
d' Korngröße für $R = \frac{100}{e} = 36{,}8\,\%$
n Konstante (für viele Stoffe in der Größenordnung von 0,7 bis 1,4).

Für die praktische Handhabung wurden doppeltlogarithmische Körnungsnetze entwickelt. Diese zeichnen sich dadurch aus, daß die Ordinate nach $\lg\left(\lg\frac{100}{R}\right)$ und die Abszisse nach $\lg d$ geteilt ist. (*s.* Körnungsnetz).



Korngrößen-Verteilungsfunktion, doppellogarithmisch-logarithmisch (RRSB-Netz mit Randmaßstab für Verteilungsexponenten n und $A_{OK}d_{63/3}$)
d Korngröße
$H_3(d)$ massenmäßige Korngrößen-Verteilungsfunktion
$A_{OK}d_{63/3}$ Gesamtoberfläche

In dieses Körnungsnetz wurden Randmaßstäbe aufgenommen, die eine rasche Ermittlung des Körnungsparameters n und des Oberflächenkennwertes O_{K_1} d' erlauben. Man erhält sie durch Parallelverschiebung der RRS-Geraden durch den Pol P und liest am Schnittpunkt mit dem Randmaßstab die entsprechenden Zahlenwerte ab. Durch die Parameter d' und n ist die Lage der RRS-Geraden im Körnungsnetz eindeutig festgelegt. Da d' die Korngröße des Körnerkollektivs für $R = 36{,}8\,\%$ ist, wird sie zu einem gewissen Vergleichsmaß für seine Feinheit. Problematisch ist die Deutung des Parameters n; allgemein gilt: mit steigendem n ($n > 1$) nähert sich die Korngrößenverteilung in einem linearen Körnungsnetz einer symmetrischen Verteilung. Für ein gegebenes d' wächst mit abnehmendem n ($n < 1$) der Feinkornanteil.

Mit Hilfe der Randmaßstäbe lassen sich berechnen:
- die idealisierte Oberfläche; sie ergibt sich durch Division des ermittelten Wertes O_{K_1} d' durch d',
- die wirkliche spezifische Oberfläche; sie ergibt sich aus der Beziehung

$$O = O_{K_1}\, f/s$$

f Formfaktor (Kugelform $f = 1$)
s Dichte des Korngemisches (in $t\,m^{-3}$),

- die mittlere Korngröße d_m; sie ergibt sich durch Multiplikation des ermittelten Wertes d_m/d' mit d'.

Im Beispiel (Quarzsand Hohenbocka) wurde $d' = 0{,}475$ mm und $n = 1{,}7$ gefunden; weitere Kennwerte lassen sich aus den übrigen Randmaßstäben ablesen.
[15, 330]

Kornwachstum – *Verschieben der Grenzen eines Kornes nach außen (vom Kornmittelpunkt aus betrachtet) bei thermischer Behandlung.* Das K. beruht auf dem Streben nach dem Zustand geringster Energie, wobei die großen Körner auf Kosten der kleinen wachsen. Die dabei ablaufenden atomaren Prozesse sind komplexer Natur, doch spielen Fehlordnungen und Diffusionsvorgänge eine wesentliche Rolle. Die Geschwindigkeit des K. in einem polykristallinen Aggregat ist umgekehrt proportional dem mittleren Durchmesser der beteiligten Körner:

$$dD/dt = 1/D \quad \text{bzw.} \quad D - D_0 = K\, t^{1/2}$$

D erreichter Korndurchmesser
D_0 Korndurchmesser zur Zeit $t = 0$.
K Faktor

Bei grafischer Darstellung $\lg D$ gegen $\lg t$ ist zumindest im Frühstadium des K. eine annähernde Gerade mit der Neigung 0,5 zu erhalten. Das K. sollte sich fortsetzen bis im Endzustand ein Einkristall entstanden ist. Es stellt sich eine Endkorngröße ein, da Einschlüsse (Poren) das Passieren der Korngrenzen verhindern. Die Endkorngröße ist um so kleiner, je größer das Teilvolumen und die Anzahl der Einschlüsse sind. Bei längerer Sinterdauer beobachtet man häufig ein übermäßiges Wachsen einzelner Körner, die behinderte Körner umfassen und sich Poren mit einverleiben (blokken). Das Wachstum steigt an, die Dichte ändert sich kaum und bleibt um den Porenanteil unter der theoretischen Dichte.

Korrosion (lat. corrodere = zernagen) – *allg.: Zerstörung von Werkstoffen und Erzeugnissen* durch

- Stoffaustausch der festen Stoffe mit Flüssigkeiten/Schmelzen und Gasen. Die Beschreibung der K. stößt auf erhebliche Schwierigkeiten, da Korrosionsprozesse einmal von einer großen Zahl von Variablen (Dichte*, Temperatur, Konzentration, Viskosität*, Benetzung*, Grenzflächenspannung*, Porosität u. a.) beeinflußt werden und zum anderen sich gleichzeitig verschiedene Elementarprozesse, wie Diffusion*, Löslichkeit, Reaktionen, Phasenneubildungen, Verdampfungen, Zersetzungen, Kondensationen, Dichte-, thermische und Grenzflächenkonvektionen, überlagern.
- Alle Korrosionsprozesse beginnen mit Diffusionsvorgängen, die sich dann in größere Zusammenhänge einordnen lassen:
  - Löslichkeitsdruck als Transportmechanismus,
  - Konvektion als geschwindigkeitsbestimmende Komponente auf Grund von thermischen und Dichtegradienten,
  - Grenzflächenkonvektion (oder Konvektion infolge unterschiedlicher Grenzflächenspannungen); sie tritt immer dann auf, wenn drei verschiedene Phasen (z.B. feuerfestes Baumaterial, Schmelze und Atmosphäre) zusammentreten; sie sorgt ebenfalls für Bewegung.
- Phänomene der K. können sein:
  - Bei Gipsgesteinen, Kalksteinen u. a. erfolgt die K. in Form von Auslaugungen. Die K. verläuft hier proportional der Fließgeschwindigkeit des Wassers, häufig auch proportional der Temperatur und umgekehrt proportional dem pH-Wert der Lösungen.
    Es findet Basenaustausch mit Lösungen unter Bildung leichtlöslicher Salze statt.
  - Es erfolgt Auskristallisation voluminöser Salze.
  - Ausblühungen/Abmehlen, d. h. Auskristallisation leichtlöslicher Salze aus Salzlösungen, die durch Kapillarporen in porigen Stoffen aufgesaugt werden und dann verdunsten.
  - In Gläsern werden durch absorbiertes Wasser die Mikrokerben erweitert, sog. aktivierte Spannungsrißkorrosion.

Allgemein bewirkt K. eine Substanzminderung bzw. eine Zersprengung des Kristallgitters und damit eine Herabsetzung der Güte des betreffenden Stoffes bzw. Werkstückes.
[69, 70]

Korund – *s.* Aluminiumoxid

Korund-Baddeleyit-Erzeugnisse – *s.* Feuerfesterzeugnisse, schmelzgegossene

Korund-Schamotte – *eine Schamotte* auf der Basis von Bauxit*, feuerfesten Tonen*, Schlämmkaolin, calcinierter Tonerde und Schmelzkorund mit einem Al_2O_3-Gehalt von 80 %.* An Kristallphasen lie-

gen Korund* und Mullit* vor, keine Glasphase. Verwendung als Magerungsmittel für Korund-Schamotte-Erzeugnisse. [168]

Korund-Schamotte-Erzeugnisse – *Feuerfesterzeugnisse* auf der Basis von Ton, Kaolin, Korundschamotte und Korund*; letzterer wird zur Verbesserung der Volumenstabilität und Verringerung der Brennschwindung mit herangezogen. Der Al_2O_3-Anteil bewegt sich in den Grenzen von 50 bis 90 %, vorzugsweise zwischen 50 bis 70 %.

Die angewandte Technologie entspricht weitgehend der Technologie von Schamotteerzeugnissen*. Die Kornzusammenstellung wird der *Litzow*-Kurve* angenähert. Als Formgebungsverfahren wird durchweg das Trockenpressen* mittels Kniehebelpressen* angewandt; großformatige Steine werden mit Vibrationsrüttlern oder durch Preßstampfen von Hand hergestellt. Der Brand erfolgt bei Temperaturen >1300 °C im Tunnelofen.

Phasenzusammensetzung: α-Al_2O_3, Mullit, Glasphase – ihr Anteil hängt von der Menge der mit eingeführten Flußmittel* ab, SiO_2-Formen sollten fehlen (s. Tabelle).

Eigenschaften von Korund-Schamotte-Erzeugnissen

	50 % Al_2O_3	60 % Al_2O_3	70 % Al_2O_3
SiO_2 in %	43,1...44,5	31,4...38,7	22,5...27,9
$Al_2O_3 + TiO_2$ in %	49,6...52,8	58,6...65,1	68,5...73,1
Fe_2O_3 in %	1,2... 2,2	0,8... 2,2	0,6... 1,5
CaO + MgO in %	0,4... 1,2	1,2... 1,9	1,5... 2,2
$Na_2O + K_2O$ in %	0,2... 1,2	0,3... 1,1	0,4... 1,1
ϱ in g cm^{-3}	2,82...2,86	2,95...3,05	3,20...3,30
ϱ_R in g cm^{-3}	–	2,15...2,40	2,40...2,60
oP in %	18... 24	17... 24	15... 22
gP in %	18... 27	18... 27	16... 26
σ_{dB} in kPa	275...520	225...480	175...785
TWB (950 °C, H_2O)	20... 50	20... 50	20... 50
DFB $T_{0,6}$ in °C	1400...1530	1400...1510	1400...1550

Einsatz: Öfen der keramischen Industrie, Drehrohröfen der Zementindustrie, Brennersteine u. a. in der Glasindustrie, Stahlindustrie u. a. [168]

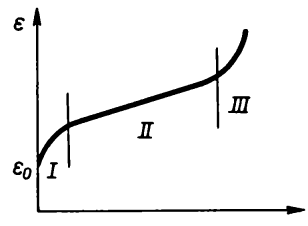
Korundsteine – *Steine mit 75 bis >90 % Sinter- oder Schmelzkorund, die eine hohe Beständigkeit gegenüber basischen Schlacken und alkalihaltigen Gläsern, aber ungünstige TWB aufweisen.* Als Bindemittel für Korundmassen kommen ff. Tone und Kaoline in Betracht. Die bei 1500 °C gebrannten Steine zeigen nur mäßig feste Bindung, eine merkliche Reaktion zwischen Korund und Bindemittel setzt erst bei ≈1600 °C ein. Die Gebrauchstemperaturen der K. liegen bei 1500 bis 1600 °C.

Krakeleeglasur – *s.* Haarrißglasur

Kratztechnik – *s.* Sgrafitto

Kreide – *s.* Calcit

Kriechen – *zeitabhängiger Dehnungsverlauf* $\dot{\varepsilon}(t)$ *eines keramischen Werkstoffes unter Last,* bei dem sich die Dehnung über die dem *Hooke*schen Gesetz entsprechende rein elastische Dehnung $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ weiter vergrößert; sie kann sowohl gegen einen asymptotischen Grenzwert streben als auch zum Bruch anwachsen. Das Bild zeigt eine sche-



Schematische Darstellung einer Kriechkurve

matische Kriechkurve, wobei ε_0 die elastische Dehnung darstellt. Im allg. lassen sich 3 Bereiche unterscheiden:

I Primäres oder Übergangskriechen bei tiefen Temperaturen und niedrigen Spannungen; es ist verknüpft mit reversiblen anelastischen Deformationen. Im Übergang zum Bereich *II* tritt Gleiten*, Klettern von Versetzungen* und Polygonisation* auf.

II Sekundäres oder stationäres K.; es laufen bevorzugt Diffusionen (Gitter, Korngrenzen) ab. Es ist der Bereich konstanter Kriechgeschwindigkeit und wird gewöhnlich unter technischen Bedingungen beobachtet.

III Tertiäres K., gekennzeichnet durch Korngrenzengleiten und hohe Kriechdehnung, verbunden mit der Entstehung von Rissen und Bruch des Werkstückes.

Allgemein wird die Deformation dadurch eingeleitet, daß diffuser Materialtransport von unter

Druckspannung stehenden Korngrenzenbereichen zu solchen unter Zugspannung stehenden erfolgt.
K. tritt besonders bei allen temperaturbeanspruchten Werkstoffen in Erscheinung, d. h., Kriechprozesse stellen einen bestimmenden Faktor für das Hochtemperaturverhalten dar. K. der Werkstoffe wird beeinflußt von ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrem Mikrogefüge und ihrem Bindungscharakter. So zeigen z. B. Graphit und SiC mit ausgesprochen kovalenter Bindung ein extrem geringes K., während Gläser ein hohes K. aufweisen. [133, 144, 145, 150, 168]
s. Duktilität, Druckdauerstandfestigkeit, Druckfeuerbeständigkeit

Kriechstrom – *Stromfluß auf der Oberfläche von normalerweise isolierend wirkenden Werkstoffen, verursacht durch atmosphärische Einwirkungen, Staubablagerungen, Salzlösungen u. a.*
Um den K. bei Hochspannungsisolatoren weitgehend auszuschalten, ist ein Mindestkriechweg vorgeschrieben, der die Verschmutzungsarten bzw. Verschmutzungsklassen berücksichtigt.

Kriechstromfestigkeit – *Fähigkeit fester Isolierstoffe, der Bildung leitender Bahnen auf ihrer Oberfläche unter Einwirkung von Feuchtigkeit und bei Anwesenheit von Elektrolyten zwischen Elektroden, die unter elektrischer Spannung liegen, entgegenzuwirken.*
Zur Prüfung der K. wird zwischen zwei an Wechselspannung angeschlossene Metallelektroden, die im Abstand von 4 mm auf das Isoliermaterial aufgesetzt werden, eine Prüflösung (Salzlösung) gegeben. Durch den Feuchtigkeitsfilm fließt ein Kriechstrom, der diesen Film zum Verdampfen bringt und schließlich kleine örtliche Lichtbogen erzeugt. Diese Lichtbogen greifen die Oberfläche des Isolationsmaterials an und hinterlassen Kriechspuren. Sobald ein Dauerstrom fließt, ist die Prüfung beendet.
Die meisten keramischen Werkstoffe sind kriechstromfest.

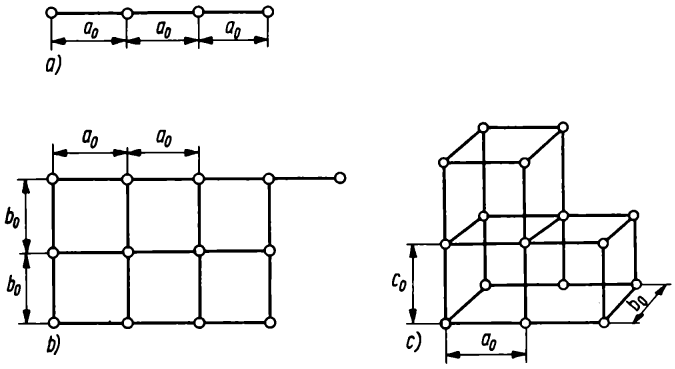
Kriechweg (Mindestkriechweg, Kriechüberschlagweg) – *konstruktive Maßnahme bei Hochspannungs-Freileitungs-Isolatoren, leitende Bahnen durch Fremdschichten zu unterbinden.* Man unterscheidet:
- Baureihen für geringe bis mittlere Fremdschichten, d. h. für Gebiete mit wenig Industrie und vorwiegend landwirtschaftlicher bzw. forstwirtschaftlicher Bodennutzung (bezogener Kriechüberschlagweg 2,2 bis 2,5 cm kV^{-1}),
- Baureihen für mittlere bis starke Fremdschichten, d. h. Gebiete schwacher Verschmutzung, aber ungünstiger atmosphärischer Bedingungen durch häufige und starke Nebel (bezogener Kriechüberschlagweg 2,6 bis 3,2 cm kV^{-1}),
- Baureihen für starke Fremdschichten (bezogener Kriechüberschlagweg 3,8 bis 5,0 cm kV^{-1}).

[14, 185]

Kristall (griech.: krystallos = Bergkristall, Eis) – *stofflich und physikalisch einheitlicher Körper mit anisotropem Verhalten.* Die Bausteine der K. sind Atome, Ionen und Moleküle, die eine streng dreidimensionale Anordnung im Raum aufweisen (*s.* Kristallgitter). Die Abstände der Bausteine liegen in der Größenordnung von 10^{-8} cm. Man kann deshalb einen K. auch als *dreifach periodisches Diskontinuum* definieren. Gegenüber diesen Modellvorstellungen des idealen K. weicht der in der Natur vorkommende und auch künstlich gezüchtete reale K. immer von der geforderten Struktur ab; er hat mechanische Baufehler und atomare Fehler, sog. Fehlordnungen.

Kristalle, flüssige (mesomorpher Zustand; griech.: mesos = dazwischen) – Gruppe organischer Verbindungen, die nach ihrer Viskosität* als Flüssigkeiten zu bezeichnen sind, aber in einem begrenzten Temperaturbereich (in der Nähe ihres Schmelz/Erstarrungspunktes) auf Grund von Schwarmbildungen eine Anisotropie* aufweisen.
Vertreter dieser Gruppe sind z. B. Stearate der Alkalimetalle, einige Oleate u. a. In keramischen Prüflabors werden f. K. u. a. zur Beurteilung der Wärme/Temperaturleitfähigkeit von Werkstoffen herangezogen.

Kristallgitter – *periodische Translation des Anfangspunktes in den drei Raumkoordinaten.* Kristalle bauen sich immer aus diskreten Masseteilchen (Atome, Ionen, Moleküle) auf; für Masseteilchen wird oft symbolisch der Ausdruck Punkt verwendet. Betrachtet man den Verschiebungsvorgang nur in einer Richtung, erhält man das eindimensionale Gitter (s. Bild *a*)); der Betrag von a_0 wird Periode (Identitätsabstand) genannt. Läßt man auf den Ausgangspunkt eine zweite Translation einwirken, gelangt man zum zweidimensionalen Gitter (Bild *b*)), durch Translation in der dritten Koordinate zum dreidimensionalen oder Raumgitter.



Kristallgitter
a) eindimensionales Gitter
b) zweidimensionales Gitter
c) Raumgitter

Das dabei gebildete Parallelepiped wird Elementarzelle* genannt (Bild *c*)).
s. Gittertypen, Translationsgitter

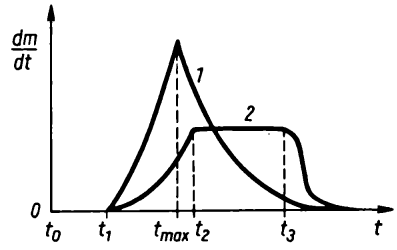
Kristallglasuren – *allgemein mit einer Komponente übersättigte Glasflüsse.* Da Kristallisationen in Glasuren nur bei der Abkühlung und verzögert ablaufen, muß die Temperatur des Ofens im Kristallisationsbereich längere Zeit gehalten werden. Man unterscheidet:

- Die eigentlichen K., die aus Komponenten mit geringem Keimbildungsbestreben, aber hoher Kristallisationsgeschwindigkeit entstehen und daher zur Bildung größerer flächenförmiger oder dendritischer Kristalle befähigt sind. Zu den bekanntesten Kristallbildnern gehören: Titanate, Zink- und Zinktitansilicate, Mangan-, Cadmium-, Calciumsilicate, Chromate, Bismut-, Uran-, Wolfram-, Molybdän- und Vanadiumverbindungen.
  Begünstigt wird die Kristallbildung, wenn als Medium eine sog. Laufglasur angestrebt wird. Nach *Berdel* eignet sich für Temperaturen von 1 100 bis 1 200 °C eine Glasur mit der *Seger*formel:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}20\,K_2O\\0{,}45\,Na_2O\\0{,}35\,CaO\end{array}\right\}\;0{,}1\,Al_2O_3\;\left\{\begin{array}{l}2{,}5\,SiO_2\\0{,}5\,B_2O_3\end{array}\right.$$

  Als Zusätze kommen 10 bis 25 % Rutil, 5 bis 6 % Kupferoxid, 1 bis 2 % Uranoxid, 1 bis 5 % Zinkoxid bzw. Zinkvanadat u. a. in Betracht. Glas und Kristalle können verschiedenfarbig sein.
- Mattglasuren, die durch Komponenten bedingt werden, die ein hohes Keimbildungsbestreben, aber nur eine kleine Kristallisationsgeschwindigkeit aufweisen. Mattglasuren erhält man durch Zusatz von Trübungsmitteln (z. B. $ZrSiO_4$) oder durch ein neutrales bis schwach basisches Verhältnis zwischen Säuren und Basen innerhalb der Glasur. Die Kristallanhäufungen werden vom Auge als Rauhigkeit bzw. undurchsichtiges Glas empfunden.

Kristallisation – *Bildung von Kristallen* aus einem übersättigten Medium (Dampf, Lösung, Schmelze, Festkörper), d. h. Übergang in die energieärmere Phase.* Im weiteren Sinne bezeichnet man mit K. auch Kristallzüchtungen* und die Abscheidung feinkristalliner Niederschläge aus homogenen Lösungen (Kopräzipitation*). Unabhängig vom Ausgangsmedium kommt die Bildung von Kristallen durch zwei Teilprozesse zustande:
1) durch Bildung eines wachstumsfähigen Keimes (Kristallkeimbildung*),
2) durch das Weiterwachsen dieses Keimes zu einem makroskopischen Kristall mit einer für den entsprechenden Kristall und die vorliegenden Wachstumsbedingungen charakteristischen Flächenbegrenzung.



Kinetik des Kristallwachstums, Änderung der Kristallisationsgeschwindigkeit *m* mit der Zeit *t*
1 bei relativ hohem Sättigungsgrad
2 bei relativ niedrigem Sättigungsgrad

Das Kristallwachstum ist zeitlich nicht konstant und wird insbesondere vom Grad der Übersättigung, der Temperatur, den hydrodynamischen Bedingungen/Diffusionsbedingungen und von der Korngröße beeinflußt (s. Bild). Um fraktionierte K. handelt es sich, wenn zur Erreichung bestimmter Reinheiten Feststoffe aus Schmelzen/Lösungen auf Grund unterschiedlicher Löslichkeiten nacheinander auskristallisiert werden.

Den Übergang vom metastabilen glasigen Zustand in den kristallinen Zustand, der zu Glasfehlern führt, bezeichnet man als Entglasung; jedoch von gesteuerter K. spricht man bei Glaskeramiken*, bei denen dieser Prozeß mit sog. Keimbildnern (z. B. kolloidale Edelmetalle, SnO_2 u. a.) eingeleitet wird.

Der K. verwandte Prozesse sind:

- Zonenschmelzen*,
- Seigern; ein Gemisch aus Feststoffen unterschiedlicher Schmelztemperatur wird durch teilweises Schmelzen oder Erstarren in einen erstarrten und einen geschmolzenen Anteil unterschiedlicher Zusammensetzung überführt,
- Löslichkeitsverdrängen; durch Zugabe eines geeigneten Stoffes beliebigen Aggregatzustandes wird eine Lösung so verändert, daß die auszuscheidende Komponente eine geringere Löslichkeit aufweist und ausfällt.

[64, 69, 129]

Kristallit

1) kleiner, unvollständiger Kristall, Kristallskelett; auch im Sinne von Dendriten gebraucht

2) Submikrokristall in der Größenordnung weniger Elementarzellen

Kristallkeimbildung – *eine Kristallisation* einleitender Prozeß, bei dem wachstumsfähige Kristallkeime submikroskopischer Dimension gebildet werden.* Kristallkeime stellen kleinste geordnete Bezirke dar, die der bei Übersättigungen (Überschreitungen*) neu gebildeten Phase angehören, aber noch im labilen Gleichgewicht* mit der Mutterphase stehen. Man unterscheidet:

- *homogene K.*, wenn der Phasenübergang (z. B. Schmelze →Kristall) unter Ausschluß von fremden Grenzflächen, also im Innern der Phase selbst, durch statistische Schwankungen der Dichte und der kinetischen Energie erfolgt,
- *heterogene K.* bei Mitwirkung fremder Grenzflächen, z. B. an Gefäßwänden und an anderen Kristallen,
- *isomorphe K.*, wenn als Kristallisationszentren eine isomorphe Substanz wirkt, etwa Goldkristalle bei der Kristallisation von Silber; hier besteht isomorphe Mischbarkeit, die sich in einem analogen Gitteraufbau beider Substanzen ausdrückt.

Häufig sind hohe Überschreitungen* erforderlich, um die K. auszulösen, da für die Entstehung der Keime die sog. Keimbildungsarbeit erforderlich ist, der die Rolle einer Aktivierungsarbeit zukommt. Ist aber während des Phasenübergangs bereits kristalline Phase (vorgegebene Kristalle, Fremdpartikeln – man spricht dann auch von Kernen) vorhanden, entfällt im wesentlichen die Keimbildungsarbeit, dann tritt der Phasenübergang bereits bei kleinen Überschreitungen ein.

Die K. in Festkörpern (z. B. polymorphe Umwandlungen, Ausscheidungen einer neuen Phase aus einem übersättigten Mischkristall u. a.) sind gegenüber Keimbildung aus isotroper Phase (Dampf, Schmelze, Lösung) komplexerer Natur, da die kristallographische Struktur und die elastischen Verspannungen zwischen Keim und Matrix eine wesentliche Rolle spielen. Praktisch enthalten alle Festkörper Baufehler, die eine innere Grenzfläche darstellen und daher einen katalytischen Einfluß auf die K. ausüben. Es ist anzunehmen, daß eine homogene K. im strengen Sinne in Festkörpern nicht vorkommt. [8, 64, 69]

Kristallsysteme – *Einordnung der Kristallgitter in Gruppen mit definierten Symmetrieverhältnissen.* Als erstes Element dieser Ordnung legt man in die Kristalle ein Koordinatensystem, das sog. *kristallographische Achsenkreuz*. Als Koordinatenachsen werden dabei beliebige Gittergeraden gewählt, denen am makroskopischen Kristall Kantenrichtungen entsprechen würden. Entsprechend der Anzahl der möglichen Achsenkreuze sind sechs bzw. sieben K. bekannt. Die Elementarzellen bzw. Kristalle des rhomboedrischen (trigonalen) Systems können stets mit Hilfe des hexagonalen Systems beschrieben werden; beide werden auf vier Achsen festgelegt. Es werden unterschieden (s. Bild):

1) kubisches System

Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_0 = b_0 = c_0$

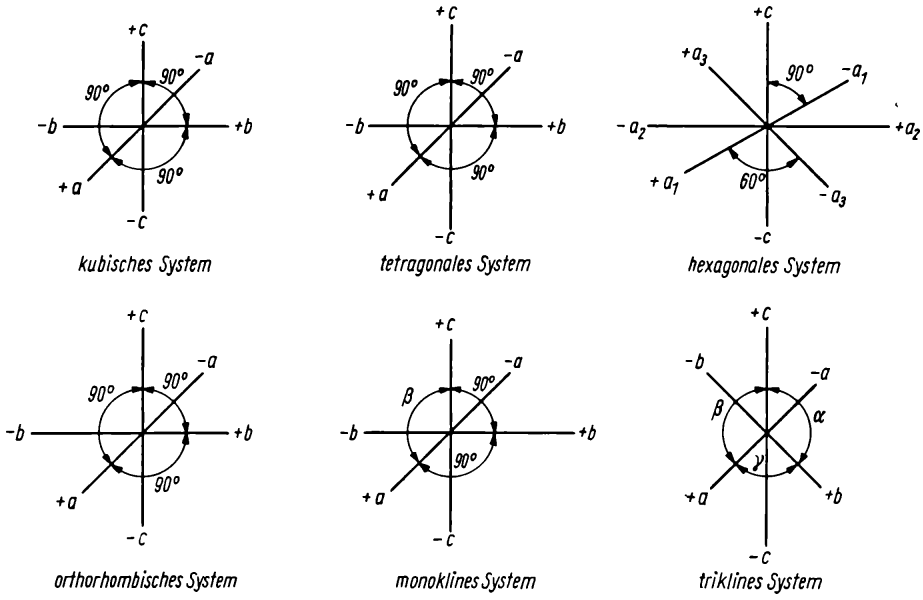
Winkel zwischen den Achsen: $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

2) tetragonales System

Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_0 = b_0 \neq c_0$

Winkel zwischen den Achsen: $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

3) hexagonales System



Kristallsysteme

Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_1 = a_2 = a_3 \neq c_0$
Winkel zwischen den Achsen: $\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$
4) orthorhombisches System
Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_0 \neq b_0 \neq c_0$
Winkel zwischen den Achsen: $\alpha = \beta = \gamma = 90°$
5) monoklines System
Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_0 \neq b_0 \neq c_0$
Winkel zwischen den Achsen: $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$
6) triklines System
Achsen bzw. Translationsbeträge: $a_0 \neq b_0 \neq c_0$
Winkel zwischen den Achsen: $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

Kristallwasser – *s.* Wasserbindung

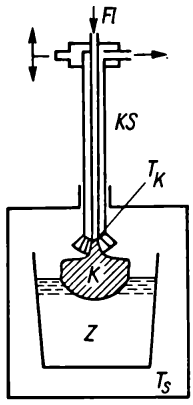
Kristallzüchtung – *künstliche Gewinnung von Einkristallen und polykristallinen Aggregaten für technische und wissenschaftliche Zwecke.* Die anzuwendenden Verfahren der K. werden bestimmt von den Eigenschaften der Ausgangssubstanzen sowie von den Anforderungen, die an den Kristall gestellt werden. Durch Zugabe von Fremdstoffen (Dotierungen) zu den Ausgangsstoffen können die Eigenschaften der gezüchteten Kristalle beeinflußt werden. Allgemein unterscheidet man einkomponentige Methoden (z. B. aus einer Schmelze), bei denen das Endprodukt große Reinheiten aufweist, und mehrkomponentige Methoden (z.B. aus Lösungen), die bei niedrigeren Temperaturen durchgeführt werden können.

1) K. aus der Schmelze. Sie wird entweder im Tiegel, der die Schmelze enthält, oder tiegelfrei ausgeführt. Sobald bei höheren Temperaturen gearbeitet wird, besteht die Gefahr der Verunreinigung der Schmelze durch Tiegelmaterial. Die bekanntesten Verfahren sind:

- *Bridgman-Verfahren*
  Der Tiegel mit der Schmelze wird in einem Temperatur-Gradienten bewegt.
- *Czochralski-, Kyropulus- oder Ziehverfahren*
  In die Schmelze wird ein gekühlter Impfkristall getaucht; der anwachsende Kristall wird langsam aus der Schmelze gezogen (s. Bild).
- *Verneuil- oder Flammenschmelz-Verfahren*
  Bei diesem tiegelfreien Verfahren wird das Kristallmaterial in Form von Pulver von oben durch Gasflamme/Lichtbogen/Plasma zugeführt und geschmolzen.
- *Zonenschmelzverfahren**.

2) K. aus der Lösung. Die für eine Kristallisation* notwendige Übersättigung wird durch Absenken der Temperatur oder durch Verdunsten des Lösungsmittels erreicht. Eine besondere Form ist die Hydrothermalsynthese.

3) K. aus der Gasphase. Sie wird zur Herstellung dünner Schichten (Schichttechnik*) in Form einer Aufdampftechnik im Hochvakuum angewendet,



$T_S > T_K$

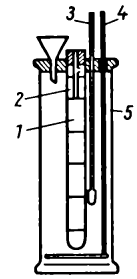
Züchtungsverfahren nach *Kyropulus*
Fl Kühlmittel
Ks in vertikaler Richtung heb- und senkbar
Z Züchtungstiegel
K Impfkristall
T_K Temperatur-Kristall
T_S Temperatur-Schmelze

und zwar durch Verdampfen des Kristallmaterials oder durch thermische Zersetzung flüchtiger Verbindungen in Form einer Transportreaktion. *4*) K. in fester Phase. Dazu zählen Rekristallisationen*, Festkörperreaktionen* u. a.; eine besondere Form ist die Höchstdrucksynthese des Diamanten. Durch Züchtung hergestellte Kristalle werden besonders auf den Gebieten der Optik (Prismen, Laser, Monochromatoren), der Halbleitertechnik, der Elektroakustik, Hochfrequenztechnik, zur Materialbearbeitung u. a. eingesetzt. [8, 64]

Kryolith (Eisstein, Na_3AlF_6)
Kristallographie: monoklin (pseudokubisch)
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 2{,}95$ bis $3{,}08\ g\ cm^{-3}$; $H = 2$ bis 3; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}339$, $n_\beta = 1{,}339$, $n_\gamma = 1{,}340$, $\Delta n = +0{,}001$ (fast isotrop); $2V = 43°$
Verwendung: als Zusatz bei blei- und borsäurefreien Glasuren und Spezialglasuren für Schmelztiegel, als Flußmittel für Massen wegen starker Blasenbildung bei höheren Temperaturen wenig geeignet.

kryptokristallin (griech.: kryptein = verbergen) – *verborgenkristallin,* d. h. nicht mit bloßem Auge als kristallin erkennbar, z. B. Chalcedone, Achate u. a. (Gegensatz: phanerokristallin)

Kugelfallviskosimeter – *Viskosimetertyp, bei dem die Geschwindigkeit einer in einer Flüssigkeit fallenden Kugel ein Maß für deren Viskosität ist.*
Hierzu befindet sich die Untersuchungssubstanz in einem lotrechten Rohr, durch das eine Kugel geeigneten Durchmessers fällt. Mittels Temperierbades wird für gleichmäßige Temperatur während der Messung gesorgt (s. Bild).



Kugelfall-Viskosimeter
1 Prüfrohr
2 Rohr
3 Temperierbadthermometer
4 Rühren
5 Temperierbad

Die Funktionsweise des K. beruht auf dem *Stokes*schen Gesetz. Für die dynamische Viskosität von *Newton*schen Systemen ist

$$\eta = 2\,(\varrho_K - \varrho_p)\,g\,R^2/9\,v$$

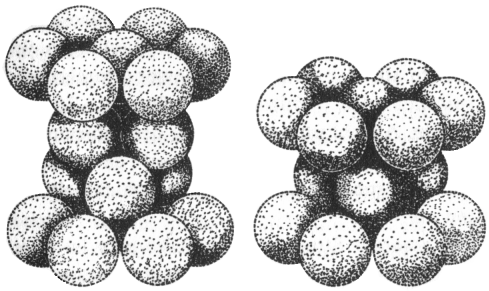
η dynamische Viskosität
ϱ_K Dichte der Kugel
ϱ_p Dichte des Prüfmediums
g Fallbeschleunigung
R Kugelradius
v Fall-(Sink-)Geschwindigkeit der Kugel.

Das *Stokes*sche Gesetz* und die daraus abgeleiteten Beziehungen gelten jedoch nur dann, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:
- die Bewegungsgeschwindigkeit der Kugel ist klein und konstant (*Reynolds*sche Zahl Re < 1),
- die Flüssigkeit ist homogen,
- die Kugel ist starr,
- die Kugel wird von der Flüssigkeit benetzt, sie gleitet nicht.

Kugelmühle – *eine Trommelmühle zur Feinmahlung von Materialien jeden Härtegrades.* Als Mahlkörper werden Kugeln aus Flint, Korund, Stahl u. a. verwendet. Das Verhältnis der Länge L zum Durchmesser D des Mühlenraumes überschreitet nicht 2:1; K. werden sowohl naß als auch trocken betrieben.
s. Trommelmühle

Kugelofen – *s.* Schnellbrandofen

Kugelpackung, dichteste – *rein geometrische Anordnung von »Atomkugeln« in der dichtest möglichen Packung* (s. Bild). Jedes Atom ist dabei von 12 gleichen Nachbarn umgeben. Nimmt bei einer Übereinanderstapelung von Kugelschichten – jeweils in die Zwickel – die vierte Schicht die gleiche Stellung wie die erste ein, d. h., die Reihenfolge der Schichten ist A B C A B C usw., spricht man von kubisch dichtester Kugelpackung (identisch mit dem kubisch flächenzentrierten Gitter). Wird die gleiche Stellung wie die erste



Kugelpackung
links: kubisch dichteste Kugelpackung
rechts: hexagonal dichteste Kugelpackung

Schicht bereits von der dritten erreicht, d. h., die Reihenfolge der Schichten ist A B A B usw., liegt die hexagonal dichteste K. vor (entspricht zwei ineinandergestellten hexagonalen Gittern). Die Raumfüllung beträgt in beiden Fällen 74,1 %.

Kühlzone – *bei Tunnelöfen der Abschnitt vom Ende der Brennzone bis zur Ofenausfahrt.* (Faustregel: etwa 40 % der Gesamtofenlänge entspricht der Kühlzone.) In der Kühlzone kann die Ware im ersten Abschnitt über ein Rekuperator-System* bis etwa 900 °C sehr rasch gekühlt werden (sog. Sturzkühlung), danach muß die Kühlung langsamer erfolgen, da verschiedene Reaktionen (z. B. Transformationsintervall der Glasphase) ablaufen. Die Kühlzeit richtet sich im wesentlichen nach Größe und Art der Artikel. Spannungen im Scherben, die zu den sog. Kühlrissen führen, müssen verhindert werden. Aus den Festigkeitseigenschaften der Keramik $\sigma_{B\text{-}Zug} = 0{,}2$ bis $0{,}5\ \sigma_{B\text{-}Druck}$ folgt, daß die Kühlung erheblichen Einfluß auf die Lebensdauer der Brennhilfsmittel und die Bruchquote des Brenngutes hat, d. h., die qualitätsbestimmenden Eigenschaften eines Erzeugnisses werden nicht nur in der Brennzone während des Sinterns herausgebildet, sondern wesentlich vom Kühlregime mit beeinflußt. [143]

Kunstglasur – im Aussehen von den üblichen Porzellan-, Steinzeug- und Steingutglasuren infolge anderer Oberflächenbeschaffenheit abweichende Glasuren.
s. Haarriß-, Aventurin-, Kristall-, Lüster-, Matt-, Laufglasur

Kupfer(II)-oxid (CuO) – *ein braunschwarzes, in Säuren lösliches Pulver, das sich auch in Glasschmelzflüssen leicht löst und als energisches Flußmittel wirken kann.* K. wird zur Herstellung grünfarbener Auf- und Unterglasurfarben und als Färbemittel für Glasuren verwendet (wobei die Zusammensetzung der Grundglasur wichtig ist: Bleiglasuren werden grün, alkalireiche Glasuren türkis gefärbt). Im reduzierenden Feuer ergibt K. blutrote Farbtöne (Chinarot). Durch Anwesenheit von Al_2O_3 wird die blaue Farbe des Alkalisilicats des Kupferoxids in eine grüne verwandelt.

L

Lackware (Siderolith) – *niedrig gebrannte keramische Erzeugnisse mit porösem, farbigem Scherben,* die anstelle der Glasur einen Lacküberzug in verschiedenen Farben tragen und dadurch wasserdicht werden. Die bekanntesten Vertreter dieser Erzeugnisgruppe sind die Gartenzwerge.

Lagenriß – *eine beim Pressen keramischer Massen entstehende Trennlage,* die sich v.a. bei feuchten feinkörnigen Mischungen infolge eingeschlossener Luft bildet.

Lagern – *Aufbewahren von Stoffen mit dem Ziel, Schwankungen zwischen Aufkommen und Verbrauch von Gütern auszugleichen.* Während Schüttgüter meist in ungeordneter Schüttung sowohl in Gebäudelagern (Bunker*, überdachte Plätze) als auch in Freilagern aufbewahrt werden, werden Stückgüter meist in Gebäudelagern, seltener in Freilagern, untergebracht.
Nach der Funktion des L. kennt man:
- Versorgungslager zur Sicherung einer bedarfsgerechten Produktion,
- Zwischenlager zur Aufnahme unterschiedlich angelieferter Erzeugnisse einzelner Produktionsabteilungen und zur bedarfsgerechten Weitergabe an die nachfolgenden Produktionsabteilungen,
- Absatzlager zum Ausgleich des zeitlichen Unterschieds zwischen den im Produktionsrhythmus anfallenden Erzeugnissen und dem Bedarf des Abnehmers.

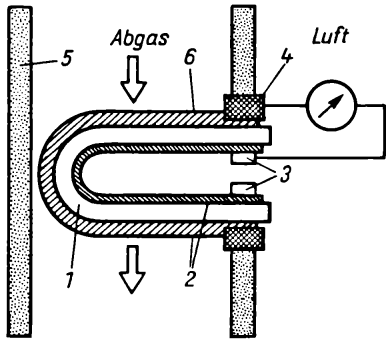
Lagerporosität – *ein Werkstoffehler des Steatits.* Beim Brand von Steatitmassen bildet sich als kristalline Hauptkomponente Protoenstatit (s. Enstatit, System $MgO-SiO_2$). Beim Abkühlen wird

Protoenstatit instabil und wandelt sich spontan in Klinoenstatit um. Die Dichte des orthorhombischen Protoenstatits beträgt 3,1 g cm^{-3}, die des monoklinen Klinoenstatits 3,18 g cm^{-3}. Diese Dichtezunahme ist mit einer Volumenabnahme des Einzelkorns von etwa 2,6 % verbunden, die zur sog. L. bzw. sogar zum Zerfall der Werkstücke führen kann. Der Zerfall wird durch Kalk (CaO > 5 %), Li_2O, CaF_2 oder B_2O_3 begünstigt. Allgemein gilt:

- Mit wachsender Korngröße des Protoenstatits wird die Umwandlung zum Klinoenstatit wahrscheinlicher.
- Schnelle Abkühlung bedingt Spannungen im Scherben, die Zerfallserscheinungen auslösen können; das trifft auch für Schleifen zu.
- Die Bildung einer Glasphase durch Einführen von 4 bis 10 % $BaCO_3$ und 6 bis 10 % Ton in den Versatz verhindert den Zerfall durch Umhüllung der Protoenstatitkristalle.

Lambda-(λ-)Sonde – *Gassensor, der nach dem Prinzip eines anionenleitenden Festelektrolyten* den Sauerstoffpartialdruck in Abgasen von Automobilen mißt.* Werkstoffseitig besteht eine L. meist aus dotiertem ZrO_2 oder ThO_2. [413, 414]

s. Rauchgassonde, keramische Sensoren



Anordnung der Lambda-Sonde im Abgasrohr (schematisch)

1 Sondenkeramik
2 Elektroden
3 Kontakt
4 Gehäusekontaktierung
5 Abgasrohr
6 keramische Schutzschicht (porös)

Langstabisolatoren – *durchschlagsichere Freileitungsisolatoren, deren Einspannungsenden mittels Portlandzement, Schwefelzement o. ä. mit metallischen Armaturen verbunden sind.* Elektrisch gesehen stellen L. Vollkernstützer dar.

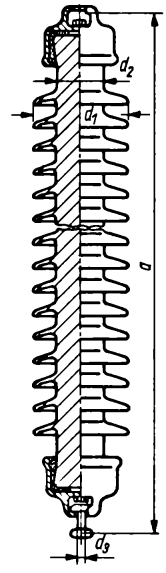
L. aus Hochspannungsporzellan für Isolationsspannungen von 110 kV weisen Baulängen von 120 cm auf, der Strunkdurchmesser (Durchmesser zwischen den Schirmen) beträgt 60, 75 und 85 mm, Anzahl und Ausbildung der Schirme hängen vom geforderten Kriechweg* entsprechend den atmosphärischen und Fremdschichtbelastungen ab.

Der gesamte Strunk des Isolierkörpers ist durch Zugspannungen belastet; in der Armierungszone gibt es jedoch örtliche Spannungsspitzen, die aus der Art der Lasteinleitung resultieren. Die Bruchgefahr ist deshalb hier besonders groß.

Die Mindestzugbruchkraft eines L. mit 75 mm Strunkdurchmesser beträgt 105 kN bzw. bei Einsatz eines hochfesten Werkstoffs 150 kN. Die am L. gemessenen Bruchspannungswerte erreichen im allg. nicht über 70 % der am gleichen Werkstoff nach TGL 20 469 bestimmten Zugfestigkeit (Volumeneffekt der statischen Festigkeitstheorie nach *Weibull*).

Bei L. werden die mechanische Stückprüfung, Prüfung auf Porosität mittels Fuchsindruckprüfung* und Durchschallung mittels Ultraschalls* durchgeführt.

Das Bild zeigt einen Nebel-L., der gegenüber den gewöhnlichen L. bei gleicher Isolierkörperlänge die doppelte Anzahl an Schirmen aufweist. [94, 185, 407]



Langstabisolator

Lanthanide – zusammenfassende Bezeichnung für die im Periodensystem auf das Lanthan folgenden Seltenerdenmetalle*.

Lanthanoxid (La_2O_3) – weißes, lockeres Pulver; Schichtgitter hexagonal; $D = 6{,}48\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2315\ °C$. In Wasser schwer löslich, wandelt sich jedoch bei höheren Temperaturen in das ebenfalls schwer lösliche $La(OH)_3$ um. L. ist stark basisch; in Säuren ist es leicht löslich. [408]

Lanthanoxid-Rutil-Keramik – *Werkstoffe für keramische Kondensatoren, deren Masse außer TiO_2 noch wesentliche Anteile an La_2O_3 enthält und die sich durch eine weitgehend temperaturabhängige Dielektrizitätskonstante auszeichnen.* Die relative Dielektrizitätskonstante liegt bei 20 bis 60 und ist stark vom Reinheitsgrad der Rohstoffe abhängig.

Wegen der leichten Hydratisierbarkeit des freien La_2O_3 kann es zu einer Art Lagerporosität kommen, die zum Zerfall des Werkstückes führt. Deshalb muß im Scherben sämtliches La_2O_3 als Titanat gebunden vorliegen (1 Mol La_2O_3 auf 1,5 Mol TiO_2). Zusätze von MgO, ThO_2, BeO, ZrO_2 erhöhen die Lagerbeständigkeit. [126, 185]

Läppen – *spanabhebende Feinstbearbeitung, bei der Werkstück und Werkzeug ohne zwangsläufige Führung beider Teile unter Verwendung lose aufgebrachter Schleifmittel bei fortlaufendem Richtungswechsel aufeinander gleiten.*

L. wird vorzugsweise bei Bearbeitungsfällen mit hohen Anforderungen an Oberflächengüte und geometrische Formengenauigkeit eingesetzt; die Präzision wird durch spannungsfreie Halterung der Werkstücke und gute Abführung der Zerspanungswärme ermöglicht. Außer zur Bearbeitung von Planflächen wird L. angewendet zum Außenrundläppen, Innenrund- oder Bohrungsläppen bzw. L. sphärischer Flächen (z.B. Endoprothesen). Das Prinzip des Planflächenläppens ist auf den folgenden Bildern (nach *Stähli*) dargestellt.

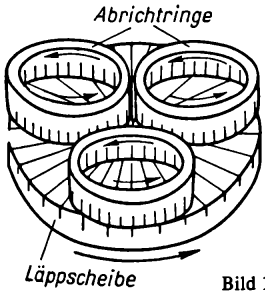


Bild 1. Prinzip des Planläppens

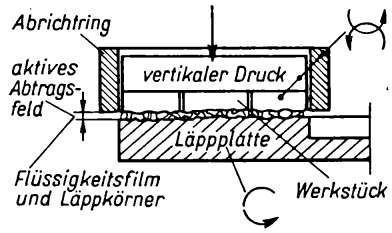


Bild 2. Schematische Darstellung des Läppvorganges

In der Keramik kommen im wesentlichen Einflächen- und Zweiflächenläppmaschinen zum Einsatz. Erstere werden vorrangig zur Feinbearbeitung als Vorstufe für das Polieren* verwendet; Formabweichungen $< 1\ \mu m$ werden erreicht. Bei Zweischeibenläppmaschinen erfolgt die Bearbeitung zweiseitig zwischen zwei rotierenden Läppscheiben; Planparallelitäten von 0,2 µm lassen sich erreichen. Als Läppulver werden für Keramik Korund, SiC, B_4C und Diamant verwendet, die Korngröße richtet sich nach gewünschter Abtragsleistung und Oberflächengüte. Als Läppflüssigkeit werden Wasser mit Zusätzen von Rostschutz und/oder Netzmitteln (Glykol), Petroleum oder verschiedene Öle herangezogen. Die Abtragsleistung steigt mit dem spezifischen Läppdruck und der Läppgeschwindigkeit. In der Praxis arbeitet man mit spezifischen Läppdrücken von 0,01 bis 0,05 MPa. Die Läppgeschwindigkeit wird nach oben infolge des Abschleuderns des Läppmittels durch die Fliehkraft begrenzt; Umfangsgeschwindigkeiten bis zu $200\ m\ min^{-1}$ sind üblich.

Abrichtringe und Läppscheiben bestehen meist aus porenfreiem, feinkörnigem perlitischem Gußeisen. Läppscheiben sind oftmals mit Nuten zur Abführung des abgetragenen Materials versehen.

Beim Innenrundläppen kleiner Bohrungen kann das Werkzeug (Stahlnadel) zur Steigerung der Läppgeschwindigkeit in eine Ultraschallschwingung versetzt werden, hierbei können Maßgenauigkeiten von $< 1\ \mu m$ erreicht werden. [123]

Lärm – *im engeren Sinne unvermeidbare Geräusche der Produktion, die über Belästigung bis hin zur Gesundheitsschädigung führen können; im weiteren Sinne zählen dazu letztlich alle Geräusche, die eine Stille stören.*

- Pegel von 35 dB sind bereits Belästigungen,
- Pegel bis 85 dB führen zu Veränderungen in den vegetativ gesteuerten Körperfunktionen,
- Pegel über 85 dB führen zu temporärer Ver-

schlechterung des Gehörs (ist ein Mensch täglich solcher Lärmeinwirkung ausgesetzt, tritt Schwerhörigkeit ein),
- Pegel über 120 bis 130 dB schädigen die peripheren Nervenzellen (bereits eine einmalige Einwirkung führt zu bleibender Gehörschädigung).

Lärmquellen innerhalb der keramischen Produktion sind insbesondere Mühlen, Pressen, Schleifmaschinen, Bereich der Kalttechnologie, Sandstrahler u. a.
[210, 418]
s. Dezibel, Schalldruck, Schallpegelmessung

Laser – *s.* Kohlendioxidlaser

Lasieren (nlat.: lazurum = nichtdeckender Anstrich) – *Anlegen von Farbflächen in dünner Lage und hellen Farbtönen.* Je nach gewünschter Intensität wird zu einer Aufschwemmung von Balsam und Terpentin die erforderliche Menge an Farbe gegeben. Dabei darf die Farbe nicht zu fett sein, um schon aufgetragene Pinselzeichnungen nicht zu zerstören. Ist sie zu mager, so werden die lasierten Flächen streifig.

Laterit (lat.: latus = gemacht) – *Verwitterungsprodukt alumosilicatischer Gesteine in tropischen, semiariden Klimazonen.* Mineralogisch setzt sich L. aus verschiedenen Tonerdehydraten, Eisenoxiden, kolloidaler Kieselsäure und Kaolinit zusammen.

Laufglasur – *Glasur, die auf Grund ihrer Leichtflüssigkeit an geneigten Oberflächen eines keramischen Gegenstandes in Form von Schlieren oder Streifen herabläuft.* Die meist farbigen Glasuren werden oft verschiedenartig neben- und übereinander gelegt (mit Pinsel oder Spritzpistole), so daß sehr interessante Effekte entstehen. Bei der L. wird der Gehalt an SiO_2 und Al_2O_3 herabgesetzt, oder es werden mehr Flußmittel (PbO) und Borsäure eingeführt bzw. eine leichtflüssige borsäurehaltige Fritte zur normalen Glasur beigemischt.

Läutern
1) Aufbereitungstechnik – allgemein Anreichern eines Haufwerkes an Nutzmineralen durch Klassieren, Wegspülen von tauben Gesteinen u. a. Beim L. von Kies ist dafür auch die Bezeichnung Waschen üblich. In der Aufbereitung von Rohkaolin stellt L. die erste Veredlungsstufe dar; in einer sog. Läuterwäsche werden Grobsande u. a. entfernt, die ablaufende Kaolintrübe wird anschließend in Hydrozyklonen* weiter klassiert (Feinkaolin*).
2) Glasschmelztechnik – Entfernen von Gasblasen aus der Glasschmelze durch chemische Läuterungseffekte (z. B. Anwendung gasabspaltender Mittel) *und/oder physikalische Läuterungseffekte* (z. B. Temperaturstoß, Ultraschall u. a.).
[15, 69, 173]

Lavendelöl – *ein farbloses bis gelblich-grünes etherisches Öl von angenehmem Geruch und bitterem Geschmack.* Flammpunkt 74 °C; $D = 0{,}880$ bis $0{,}895\ g\ cm^{-3}$. L. wird durch Wasserdampfdestillation aus dem zur Zeit der Blüte geschnittenen Kraut verschiedener Abarten des echten Lavendels gewonnen. Als Hauptbestandteil enthält es lavendelverestertes Linalool. L. hält Aufglasurfarben feucht und geschmeidig und dient auch zum Verdünnen beim Lüster*.

Lavieren (lat.: lavina = Erdrutsch) – *das Hineinarbeiten in halbfertige oder abgeschlossene Zeichnungen mit einem weichen Pinsel,* um Flächen miteinander zu verbinden, Schattenwirkungen, weiche Grenzen oder Tönungen zu erzielen.

Lebensdauer – *s.* Dauerfestigkeit

Lederhärte – *Zustand keramischer Massen/Formlinge während des Trockenvorgangs;* sie sind noch nicht völlig ausgetrocknet, schwinden aber nicht mehr (s. *Bourry*-Diagramm). Eine Masse in diesem Zustand ist gut schnittfähig (s. Kopiermaschine), kann engobiert und garniert werden. Die Feuchte liegt etwa bei 15 bis 17 %. [111, 133, 185]

Leerstelle (Gitterlücke) – *unbesetzter Platz im Kristallgitter.* L. bewirken im Gitter eine elastische Deformation. Da sie im Gitter wandern können, sind sie normalerweise im gesamten Gitter statistisch verteilt.
s. Baufehler, Fehlordnung

Lehm – Sammelbegriff für sehr unterschiedlich zusammengesetzte, durch Kalk, Pflanzenreste und größere Mengen Feinsand verunreinigte und durch Eisenverbindungen gelb bis braun gefärbte Tone. Grundstoff in der Ziegelindustrie, Verwendung für Lehmglasuren*.

Lehmglasur – *die einfachste Farbglasur in der Grobsteinzeugtechnik (Kanalisationsrohre usw.) und in der Braungeschirrtöpferei (mit einer Scherbenbeschaffenheit zwischen Irdenware und Steinzeug).* Sie gehört zur Gruppe der Erdglasuren (bleifreie Rohglasuren) und setzt sich aus Quarz, Feldspat sowie farbig brennenden Tonen zusammen, ist besonders flußmittelreich und hat ein niedriges

Schmelzintervall. Im allgemeinen werden die Lehme im geschlämmten Zustand ohne weitere Zusätze auf den lederharten Scherben aufgetragen und zwischen 1150 und 1250 °C glattgebrannt. Die Braunfärbung des Eisensilicats bildet sich als dünnes Häutchen erst während der Abkühlung der reduzierend gebrannten Glasur. Zur Vertiefung der Farbe wird manchmal MnO_2 zugesetzt. Die Braunfärbung wird bei den meisten Lehmen durch vorhandene geringe Mengen TiO_2 unterstützt. Schwer schmelzbare Lehme können durch Zusatz von Flußmitteln leichtflüssiger gemacht werden.

Leichtbetone, hitzebeständige bzw. feuerfeste – *Betone mit einer Rohdichte von 0,90 bis 1,60 kg dm^{-3}, die entsprechend ihrer Klassifikationstemperatur im Temperaturbereich von 900 bis 1 600 °C einsetzbar sind.*

L. werden als vorgefertigte Elemente und als stampf- und gießfähige Gemenge angeboten. Nach ihrer Beanspruchung werden unterschieden:

- *konstruktive L.* auf der Basis von Portlandzement* und Aggloporit* als Leichtzuschlagstoff und Einsatztemperaturen bis 1400 °C. Konstruktive L. werden bevorzugt als Wandelemente zur direkten Feuerraumauskleidung anstelle von handelsüblichen Schamottenormalbetonen eingesetzt.
- *hochwärmedämmende L.* auf der Basis von Portland/Tonerdeschmelzzement* mit Schaumpolystyrol als Ausbrennstoff und Einsatztemperaturen bis 1600 °C. Hochwärmedämmende L. werden insbesondere zur Hintermauerung und Wärmedämmung feuerfester Verschleißschichten eingesetzt, wobei die Verarbeitung wegen der geringen mechanischen Festigkeit vorwiegend auf der Grundlage von Gemengen als Ortsbeton auf kleinformatige Teile beschränkt bleibt. Dabei ist es jedoch möglich, relativ komplizierte Formteile herzustellen, die früher aus Leichtsteinen* herausgearbeitet werden mußten (s. Tabelle S. 276).

[416]

Leichtstein – *s.* Feuerleichtstein

Leitfähigkeit, elektrische (σ; in S cm^{-1} bzw. $(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$)

1) Allgemein die Eigenschaft eines Stoffes, die Bewegung von elektrischen Ladungsträgern zu ermöglichen; sie ist um so größer, je größer die Zahl der Ladungsträger und deren Beweglichkeit ist. Die e. L. gibt den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Feld E und der elektrischen Stromdichte j an: $j = \sigma E$.

2) Unter spezifischer e. L. versteht man die e. L. eines Festkörpers von der Länge 1 cm und dem Querschnitt 1 cm^2 (d. h. eines Würfels von der Kantenlänge 1 cm).

3) Bei Elektrolytlösungen spricht man von elektrolytischer L. und bezieht die spezifische L. auf den Widerstand einer Elektrolytlösung zwischen 2 Elektroden vom Abstand 1 cm und einem Querschnitt 1 cm^2; sie beträgt z. B. für 1 molare HCl bei 18 °C 0,301 $(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$.

4) Metalle verfügen aufgrund ihrer metallischen Bindung über freibewegliche Elektronen – man spricht deshalb von Elektronenleitung; ihre e. L. ist entsprechend hoch, z. B. $Ag_{20\,°C} = 6 \cdot 10^5$ S cm^{-1} bzw. $6 \cdot 10^5\,(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$.

5) Halbleiter* verfügen ebenfalls über freie Elektronen bzw. Quasielektronen; ihre e. L. ist stark temperaturabhängig und liegt zwischen der von Metallen und Isolatoren.

6) Keramische Werkstoffe besitzen normalerweise keine freien Elektronen, so daß ihre e. L. um Größenordnungen niedriger ist als bei Metallen; sie werden deshalb als Isolatoren* bezeichnet. Porzellan (KER 110) weist bei Zimmertemperatur ein $\sigma < 10^{-11}\,(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$ und bei 600 °C noch etwa $10^{-4}\,(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$ auf; ähnlich verhalten sich viele silicatkeramische Werkstoffe, wie z. B. Steatit*, Cordierit* u. a. Hochreines Al_2O_3 weist sogar bei Raumtemperatur ein $\sigma < 10^{-15}\,(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$ und bei 1400 °C noch ein $\sigma < 10^{-6}\,(\Omega\,\mathrm{cm})^{-1}$ auf. Man macht für das Ansteigen der e. L. bei höheren Temperaturen die Ionenleitfähigkeit verantwortlich; ihre Temperaturabhängigkeit läßt sich mit Hilfe der Diffusionsbeziehungen nach *Nernst–Einstein* beschreiben. Da besonders die kleineren Kationen mit niedriger Wertigkeit dazu beitragen, spricht man auch von Kationenleitern. (Neuere Beobachtungen zeigen, daß bei höheren Temperaturen doch eine gewisse Elektronenleitfähigkeit auftritt.)

7) Für die Ionenkristalle, die innerhalb der keramischen Werkstoffe eine Sonderstellung einnehmen, kann in bezug auf die e. L. formuliert werden:

- Gehalt an Fremdionen, die im Gitter leicht beweglich sind (kleiner Ionenradius, schwache

Bindung gegenüber Sauerstoff) führt zur Kationenleitfähigkeit (z. B. Na^+-Ionen im Korundgitter bzw. bei β-Al_2O_3),
- Sauerstoffleerstellen und die Diffusion von O^{2-}-Ionen im elektrischen Feld verursachen eine Anionenleitfähigkeit.

[123, 129, 144, 150]

s. Bändermodell, Festelektrolyt, Halbleiter, Sensoren, Isolatoren.

Lepidolith ($KLi_{1,5}Al_{1,5}$ [(F, OH,1/2 O_2)$AlSi_3O_{10}$]; Lithiumglimmer griech.: lepis, lepidos = Schuppe) – *enthält bis 6 % Li_2O.*

Kristallographie: monoklin; Phyllosilicat (s. Silicatstrukturen); pseudohexagonale Form; Aggregate schuppig

Physikalische Eigenschaften: rosa bis pfirsichblütenrot (durch Mn); $H = 2$ bis 3; $D = 2{,}8$ bis 2,9 g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}55$, $n_\gamma = 1{,}53$

Tabelle. Kennwerte hitzebeständiger und feuerfester Leichtbetone (nach *Höer* und *Kanthak*)

Eigenschaften	Betonsorten							
	konstruktive Feuerleichtbetone			wärmedämmende haufwerksporige Feuerleichtbetone		hochwärmedämmende Feuerleichtbetone		
	F 11-241	F 12-241	F 14-343	F 09-235	F 10-231	F 11-221	F 13-222	F 16-333
Klassifikationstemperatur in °C	1 100	1 200	1 400	900	1 000	1 100	1 300	1 600
Bindungsart	hydraul. (PZ)	hydraul. (PZ)	hydraul. (TZ)	chem. Wassergl.	hydraul. (PZ)	hydraul. (PZ)	hydraul. (TZ 50)	hydraul. (TZ 70)
Leichtzuschlagstoffart	Agglop.	Agglop.	Leichtsteingranulat	Blähschiefer	Blähschiefer	Schaumpolystyrol als Ausbrennstoff		
Rohdichte nach Trocknung in g cm^{-3}	1,60	1,60	1,40	1,10	1,20	0,80	0,80	0,90
Druckfestigkeit bei Raumtemperatur nach Lagerung in MPa	15	15	10	1	5	1	1	1,5
Erhärtungszeit in d	28	28	7	2	28	28	7	7
Druckfestigkeit bei Raumtemperatur nach Vorbrand in MPa	7	7	5	1,5	2	0,3	0,3	0,3
Vorbrandtemperatur in °C	800	800	800	600	800	800	800	800
lineare Längenänderung nach Vorbrand in %	−1 bis +0,5		−1,5	±1,0	±1,0	−0,5 bis −1,5		
Vorbrandtemperatur in °C	1 100	1 200	1 400	900	1 000	1 100	1 300	1 600
Wärmeleitfähigkeit nach Trocknung in W(m K)$^{-1}$								
20 °C	0,99	0,99	0,45		0,58	0,26	0,26	0,52
300 °C	0,78	0,78	0,46		0,55			0,38
600 °C	0,62	0,62	0,55	0,60		0,30	0,30	0,38
900 °C	0,73	0,73	0,64	0,70		0,46	0,46	0,46

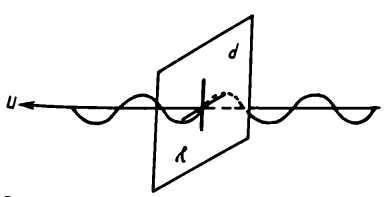
Vorkommen: in zersetzten Graniten (sog. Greisen), häufig mit Spodumen*; mittlerer Ural, Insel Utö (unweit Stockholm), bei Penig/Sa. (geringe Mengen)
Nutzung: Gemeinsam mit Zinnwaldit* bildet es eine Hauptquelle zur Gewinnung von Lithiumsalzen.
[8]

Letten – *Sammelbezeichnung für unreine, deutlich geschichtete Tone.* Man trifft sie häufig im oberen Buntsandstein als Quellhorizont an. Verwendung als Ziegeltone und Lehme.

Leukometer (griech.: leukos = weiß) – *Gerät zur fotoelektrischen Messung des Reflexionsgrades weißer oder heller Objekte,* zur Ermittlung des Weißgrades beim Porzellan o. ä., der Transparenz (Papier), in Verbindung mit Farbfiltern zur Kontrolle der Gleichmäßigkeit eines Farbtones unter Einschaltung von Lichtfiltern zur Bestimmung der Rückstrahlung einzelner Spektralbereiche. Bezugsgröße ist z. B. MgO = 97,5 % (vom absoluten Weiß).

Leuzit ($KAlSi_2O_6$ oder $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2$)
Kristallographie: dimorph, oberhalb 600 °C kubisch, unterhalb tetragonal
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 2{,}45$ bis $2{,}50\,g\,cm^{-3}$; $H = 5$ bis 6; *o. D.:* $n_\alpha = n_\beta = 1{,}508$, $n_\gamma = 1{,}509$, $\Delta n = +0{,}001$; $2\,V$ = klein, fast isotrop
L. bildet sich beim (inkongruenten) Schmelzen von Orthoklas; im Porzellanscherben ist er nur andeutungsweise nachgewiesen.

Licht, linear polarisiertes – *Licht, dessen Schwingungen nicht regellos, sondern gerichtet erfolgen.* Beim l. p. L. liegen die Schwingungen stets in gleicher Ebene mit der Fortpflanzungsrichtung n, d.h., die Projektion auf eine Normalebene zu n ergibt eine Gerade (s.Bild). Die Richtung dieser Geraden wird als Schwingungsrichtung, die dazu senkrechte Richtung P als Polarisationsrichtung, die Ebene (γ, n) als Schwingungsebene und die Ebene (P, n) als Polarisationsebene bezeichnet.



Licht, linear polarisiertes

Licht, monochromatisches (griech.: monos = einzig, chroma = Farbe) – *einfarbiges Licht, strenggenommen – Licht einer einzigen Wellenlänge, meist jedoch Licht einer einzigen Spektrallinie.*
Die von natürlichen Strahlungsquellen ausgehende Strahlung besteht stets aus einem Gemisch von Teilstrahlungen verschiedener Schwingungsfrequenzen ν oder Wellenlängen λ. Durch spektrale Zerlegung oder Filterung läßt sich aus einem solchen Gemisch ein schmaler Wellenlängenbereich $\Delta\lambda$ aussondern. In manchen Fällen wird auch schon von der Strahlungsquelle (z. B. Natriumlampe) ohne besondere Filterung Strahlung eines schmalen $\Delta\lambda$-Bereiches emittiert. Man nennt eine solche Strahlung – sprachlich nicht ganz exakt – monochromatisch, um auszudrükken, daß sie praktisch nur aus einer Strahlung einheitlicher Wellenlänge besteht.

Lichtbogenfestigkeit – *Widerstandsfähigkeit keramischer Isolierteile gegenüber einem brennenden Lichtbogen,* wobei letzterer den Werkstoff auf *TWB* beansprucht. Die L. läßt sich nicht durch Zahlenwerte ausdrücken, sondern wird verbal beschrieben. Bei der Prüfung der L. werden zwei Kohlestäbe auf die zu prüfende Oberfläche gesetzt, die über 20 Ω an 220 V liegen. Die beiden Spitzen werden mit einer Geschwindigkeit von $1\,mm\,s^{-1}$ auseinandergezogen. Dabei wird das Verhalten des Materials beobachtet. [VDE 0355]

Lichtbrechung (Refraktion des Lichtes) – *die Erscheinung, daß Licht beim Übergang von einem durchsichtigen Medium in ein anderes seine Richtung ändert.* Es gilt das Gesetz

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v}{v'} = n$$

v und v' Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in den beiden Medien
n Brechzahl
α Einfallswinkel
β Brechwinkel.

Die Brechzahl (Brechungsindex) n optisch isotroper Stoffe (kubische Kristalle und amorphe Stoffe) und die Hauptbrechungsindizes der optisch anisotropen Kristalle n_α, n_β, n_γ/n_ε, n_ω zählen zu den wichtigsten Meßgrößen der Lichtmikroskopie. [6]
*s. Beck*sche Linie, Immersionsflüssigkeiten

Lichtmikroskopie – *zusammenfassende Bezeichnung für die optischen, präparativen und techni-*

schen Verfahren, die in Verbindung mit dem Mikroskop unter Verwendung von Licht zum Sichtbarmachen oder Untersuchen kleiner Objekte bzw. Objektstrukturen dienen.

1) optische Verfahren

Durchlichtmikroskopie bei durchsichtigen Präparaten, Auflichtmikroskopie bei undurchsichtigen Präparaten, Phasenkontrastverfahren bei Objektstrukturen, die die Amplitude des Lichtes schwächen.

2) präparative Verfahren

Befestigen der Untersuchungsobjekte auf Objektträgern, Abdecken mit Deckgläsern bei Körnern, Dünnschliffe, Anschliffe.

3) technische Verfahren

Auswahl der Mikroskopoptik, heizbare Objekttische für Schmelzpunktbestimmungen u. a.

Lichtschnittverfahren – *optisches Oberflächenprüfverfahren nach Schmaltz.* Die kleinste erfaßbare Oberflächenrauhtiefe liegt etwa bei 1 µm, die größte bei 25 µm.

Ein beleuchteter Spalt wird durch ein Objektiv stark verkleinert auf die zu prüfende Oberfläche projiziert, und der dabei entstehende Profillichtschnitt wird durch ein Mikroskop, welches mit dem gleichen Objektiv ausgestattet ist, betrachtet. Die Achsen von Spalt- und Mikroskoptubus sind rechtwinkelig zueinander und jeweils unter einem Winkel von 45° zur Oberflächennormale angeordnet. Die eine Kante des Lichtbündels markiert die Umrisse des angeschnittenen Oberflächenprofils. Durch die Schräglage erscheinen Rauhtiefen und Rillenabstände um den Faktor $\sqrt{2}$ überhöht. Das Ausmessen des Profilbildes wird mit einem Okularschraubenmikrometer vorgenommen, dessen Skalenwert für jedes Objektivpaar durch Vergleich mit einer Teilung eines Objektmikrometers* ermittelt werden muß (s. Bild mit Strahlengang im Meßmikroskop).

[441]

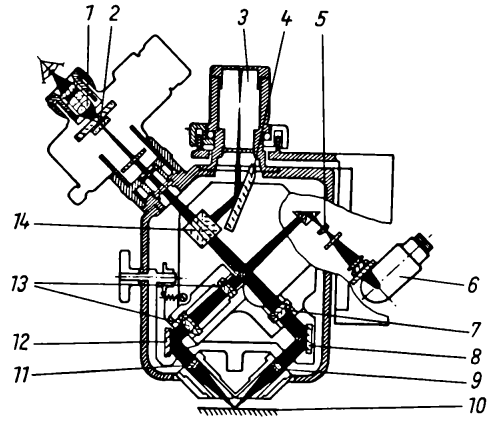
Limbacher Manufaktur – *eine 1772 durch Gotthelf Greiner gegründete Porzellanmanufaktur, die vor allem Gebrauchsgeschirr herstellte.* Charakteristisch sind *blau geripptes* Porzellan, Blaublümchen oder Halmdekor auf geripptem Grund. Das vielseitige Figurenporzellan zeigt eine saubere Modellierung und Bemalung. (s. Fabrikmarke)

Liquiduskurve – *Kurvenzug, der in binären Systemen die Temperaturpunkte verbindet, bei denen ein Stoffgemisch vollständig geschmolzen ist.* Die L. gibt die Zusammensetzung der Schmelzen wieder, die in Abhängigkeit von der Temperatur mit der festen Phase im Gleichgewicht stehen. In ternären Systemen wird die L. zur Liquidusfläche.

Litermasse – *die auf die Raumeinheit 1 Liter bezogene Masse eines Stoffes in kg bzw. g,* wobei man zwischen L. eingelaufen und L. eingerüttelt unterscheidet. Bei körnigen Stoffen/Granulaten gibt die L. Auskunft über die Packungsdichte (s. *Litzow*-Kurve).

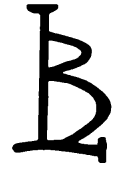
Bei Gieß- und Glasurschlickern wird mit Hilfe der L. die verarbeitungsgerechte Einstellung kontrolliert; als orientierende Richtwerte können für

- Porzellangießschlicker etwa 1,66 bis 1,72 kg l^{-1} (bei Zusätzen von Tonerde u. a. entsprechend höher bzw. auch niedriger),
- Glasurschlicker etwa 1,32 bis 1,45 kg l^{-1} (in Abhängigkeit von Erzeugnis und Glasierverfahren



Strahlengang im Meßmikroskop »Lichtschnittmeßgerät«

1 Okular	*8* Umlenkspiegel
2 Strichplatte	*9* Objektiv
3 Fototubus	*10* Prüffläche
4 Spiegel	*11* Objektiv
5 einstellbarer Spalt	*12* Umlenkspiegel
6 Lichtquelle	*13* Kollimeterlinse
7 Tubuslinse	*14* Teilungswürfel



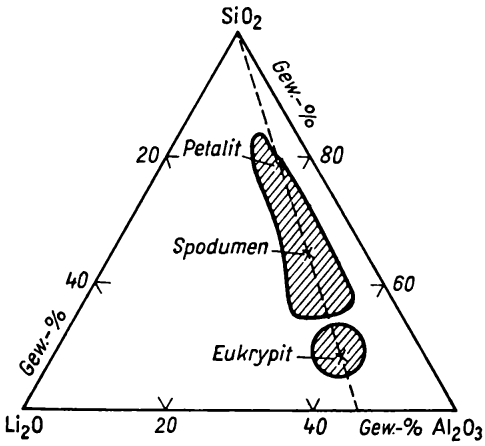
Limbach 1762

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Limbach

auch höher, z. B. für Sanitätskeramik im Sprühverfahren bis 1,65 kg l^{-1})

angenommen werden. Die Bestimmung der L. erfolgt durch Wägung definierter Volumina, bei Schnellkontrollen mittels Aräometers* (Senkwaage).

Lithiumaluminiumsilicate – *zusammenfassende Bezeichnung für Verbindungen der Art* $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$ (s. Bild).



Bereiche negativer Ausdehnungskoeffizienten von Li_2O–Al_2O_3–SiO_2-haltigen Scherben

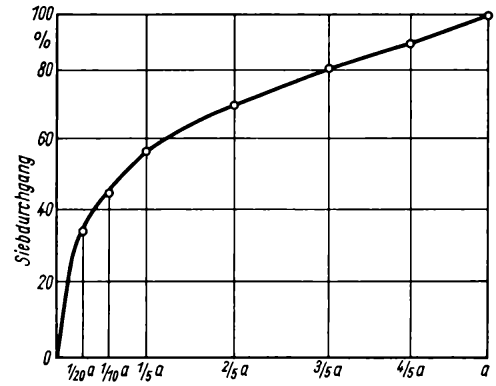
In der Natur kommen Eukryptit* ($n = 2$), Spodumen* ($n = 4$) und Petalit* ($n = 8$) vor.

Werkstoffe auf der Basis von L. weisen ein sehr kleines Sinterintervall auf, so daß man meist nach der Technologie der Glaskeramik* durch Kristallisation aus der Schmelze vorgeht. [69, 133, 246]

Lithophan (Lichtschirm; griech.: lithos = Stein; phanein = scheinen) – *mit Reliefs versehene dünne Porzellanplatten o. ä., bei denen sich durch unterschiedliche Scherbendicken bei Einwirkung einer natürlichen oder künstlichen Lichtquelle ein reizvolles plastisches Bild ergibt;* die dünneren Scherbenteile erscheinen hell, die dickeren dunkler. Die Reliefkonturen werden entweder durch direktes Einarbeiten in die weiche Porzellanplatte oder durch Abgießen des Schlickers auf einer entsprechend vorbereiteten Gipsform erzielt.

Außer Lichtschirmen werden nach dieser Technik auch Krugböden, Fensterschmuck u. ä. hergestellt. Als Bezeichnung für diese Erzeugnisse ist noch Diaphan üblich.

***Litzow*-Kurve** – *eine von K. Litzow aufgestellte Summenkurve zur Erreichung der günstigsten Korngrößenzusammenstellung bzw. einer günstigen Pakkungsdichte von Schamottemassen.* Allgemein sollen 33 % des Pulvers/der Körner durch ein Sieb hindurchgehen, dessen lichte Maschenweite 1/20 der größten verwendeten Körnung *a* entspricht; 45 % entsprechend 1/10 *a* usw. (s. Bild und Tabelle). Die L. hat sich auch für andere keramische Mas-



Schaubildliche Darstellung nach *Litzow* (*a* maximale Korngröße des gewünschten Versatzes)

Koordinaten der Litzow- und Fullerkurve

Korngröße	*Litzow* in %	*Fuller* in %
0	0	0
1/20 *a*	33	23
1/10 *a*	45	30
1/5 *a*	56	40
2/5 *a*	67	55
3/5 *a*	78	70
4/5 *a*	89	85
a	100	100

(Litzow-Kurve in allgemeiner Form)
(Koordinaten der Litzow- und Fullerkurve)

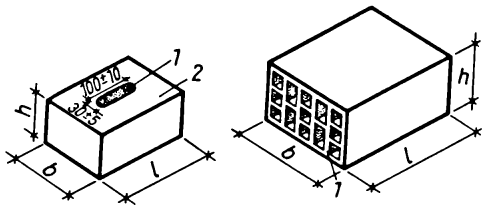
sen als zweckmäßig erwiesen. Eine geringe Verschiebung der Korngrößenzusammensetzung gegenüber den obigen Angaben wirkt sich kaum auf die Dichte des Sinterprodukts aus. Die L. ähnelt in gewissem Grade der von *Fuller* aufgestellten Kurve für Betonmischungen.

Lochziegel – *standardisierte Formsteine aus bildsamen, sorgfältig aufgeschlossenen und aufbereiteten*

Tonen, die mit Lochungen versehen sind. Die Lochung dient zur Verbesserung der Wärmedämmung.

Man unterscheidet:

1) Hochlochziegel (Bild links), gekennzeichnet durch senkrecht zur Lagerfläche geführte Lochungen mit einem Lochanteil >15 %. Die Ausbildung der Löcher kann rund, oval, quadratisch, rechtekkig sein. Ab 2,4 NF ist mindestens ein Griffschlitz Bedingung. Die Rohdichten liegen bei 0,8, 1,0, 1,2 und 1,4 kg dm^{-3}; die Druckfestigkeit für letztere bei etwa 24 MPa.



Hochlochziegel
1 Abmessungen des Griffschlitzes gelten für alle Hochlochziegel
2 gelochte Fläche ohne Löcher dargestellt
Langlochziegel
1 Lochanordnung variabel

2) Langlochziegel (Bild rechts), gekennzeichnet als parallel zur Lagerfläche gelochte Ziegel. Größe und Form der Löcher sind nicht vorgegeben. Die Rohdichte bewegt sich zwischen 1,20 und 1,30 kg dm^{-3}, die Druckfestigkeit zwischen 2,5 und 5,0 MPa. [157]

s. Mauervollziegel

Lösen – *Überführen verschiedener Stoffe in unterschiedlichen Mengenverhältnissen in eine einheitliche homogene Mischung.* Die gegenseitige Verteilung der Komponenten ist molekulardispers, d. h., die Komponenten liegen dann in der Größenordnung 10^{-7} bis 10^{-8} cm vor.

Im keramischen Sprachgebrauch wird noch häufig unter L. ein Aufschlämmen von bildsamen Rohstoffen verstanden, dafür sollte korrekterweise der Begriff *Dispergieren** verwendet werden.

Löß – *gelbliches, sehr feinkörniges (80 % aller Teilchen liegen im Körnungsbereich 10 bis 50 µm), meist kalkhaltiges und poröses Material.*

Lößlagerstätten sind durch Ablagerung von Gesteinsstaub entstanden. Infolge der Porosität kommt es zu einer gewissen Wasserzirkulation, die zur Bildung von Kalkkonkretionen (Lößpuppen, Lößkindl) führen kann. Nachträgliche Umschichtung einer Lößlagerstätte durch Wasser bezeichnet man als Schwemmlöß. Verwendung von Löß-Lehm in der Ziegelindustrie. [157]

Lösungsfarbe – *eine Art Unterglasurfarbe.* L. werden in wäßriger Lösung auf den Scherben aufgetragen, von diesem aufgesaugt und im Glattbrand zersetzt. So färbt z.B. Nickelnitrat unter der Glasur hellbraun, Ammoniummolybdat schwarz mit gelben Rändern.

Lösungskeramik – *silicatische Schutzschichten, die nach chemisch-thermischen Verfahren aus Lösungen gewonnen werden.*

Zur Erzeugung von Silicaten geht das Verfahren von zwei Lösungen aus: einer Salzlösung (Nitrate, Acetate) und einer kolloidalen Kieselsäurelösung (bestehend aus Kieselsäureester, Alkohol und Wasser). Unmittelbar vor der Verarbeitung werden beide Lösungen zusammengebracht und auf die 300 bis 600 °C heiße Unterlage gesprüht, dabei bilden sich Oxide und Silicate, die nachträglich eingebrannt werden. [91]

Ludwigsburger Manufaktur – *eine 1758 gegründete Porzellanmanufaktur, die bis 1770 eine beachtliche Leistungshöhe erreichte.* Auffallend sind die Vorliebe für Landschaften und reiches Figurensortiment. Das Geschirr trägt plastischen Schmuck und Reliefs (z. T. nach Meißner Vorbild). Nach 1770 begann der Rückgang, und 1824 wurde der Betrieb aufgelöst. (s. Fabrikmarke)

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Ludwigsburg

Luftbedarf – *das zur Verbrennung von Brennstoffen notwendige Luftvolumen.* Für praktische Zwecke kann der L. bei luftsatter Verbrennung mit Hilfe der Formeln von *Rosin* und *Fehling* berechnet werden.

1) feste Brennstoffe

$$L_{\text{min-trocken}} = 1{,}01\,\frac{H_u}{4\,186} + 0{,}5\ \text{m}_N^3\ \text{kg}^{-1}$$

2) flüssige Brennstoffe

$$L_{\text{min-trocken}} = 0{,}85\,\frac{H_u}{4\,186} + 2{,}0\ \text{m}_N^3\ \text{kg}^{-1}$$

3) gasförmige Brennstoffe

– für Armgase ($H_u \leqq 12\,500$ kJ m_N^{-3})

$$L_{\text{min-trocken}} = 0{,}875 \frac{H_u}{4\,186} m_N^3 m_N^{-3}$$

– für Reichgase ($H_u \geqq 12\,500$ kJ m_N^{-3})

$$L_{\text{min-trocken}} = 1{,}09 \frac{H_u}{4\,186} + 0{,}25 m_N^3 m_N^{-3}$$

$L_{\text{min-trocken}}$ Mindestluftmenge im trockenen Zustand
H_u unterer Heizwert in kJ kg^{-1} bzw. kJ m_N^{-3}
m_N^3 Normkubikmeter (0 °C; 101, 325 kPa)

Für genauere Berechnungen müssen die Verbrennungsgleichungen*, die Feuchte der Luft, des Brennstoffes und der Luftfaktor herangezogen werden. Für Überschlagsberechnungen kann bei Heizgasen je 4 200 kJ 1 m_N^3 Luft angenommen werden. [13, 234]

s. Rauchgasvolumen

Luftfaktor – *s.* Luftverhältniszahl

Luftgelb – *Brennfehler, Verfärbung des Porzellans* bei Oxydation bzw. ungenügender Reduktion während des Dichtbrennens.* Bei rein oxydierendem Brand ist die l. Verfärbung bereits bei Fe_2O_3-Gehalten im Scherben ab 0,35 Gew.-% (bei Glasuren ab 0,25 Gew.-%) zu beobachten; die Ursache liegt nach *Dietzel* in der geringen Löslichkeit des Fe^{3+} in den Schmelzphasen des Porzellans bzw. der Glasuren. Aus diesem Grunde wird Fe_2O_3 kolloidal ausgeschieden und bewirkt eine intensive Färbung. Das in den Rohstoffen vielfach mit vorhandene TiO_2 verstärkt noch die Farbwirkung des Eisenoxids, dafür wird die Bildung der Eisentitanate $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ bzw. $Fe_2O_3 \cdot 2\,TiO_2$ verantwortlich gemacht. [14, 133, 185]

*s. Boudouard*sches Gleichgewicht.

Luftkissenofen – *s.* Schnellbrandofen

Luftschadstoffe – *in Abgasen, Rauchgasen oder in der freien Atmosphäre auftretende schädliche Substanzen, die in Konzentrationen vorliegen, daß sie Belästigungen oder gesundheitliche Schädigungen des Menschen verursachen, biologische Abläufe beeinträchtigen und/oder Sachwerte zerstören.*

L. können Staub, Tröpfchen oder gasförmiger Art sein; die bekanntesten L. sind Flugasche, SO_2, H_2S, CS_2, NO_x, F, örtlich begrenzt auch toxische Stäube. Durch Adsorption von gasförmigen L. können auch nichttoxische Stäube zur Gefahr werden. Die Intensität der Schädigungen durch L. hängt ab von

– den Eigenschaften der Stoffe,
– deren Konzentration und Einwirkungszeit,
– den Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Schadstoffen.

[417]

s. Immision

Luftverhältniszahl (Luftfaktor λ) – *Verhältnis von tatsächlich zugeführter Luftmenge zu theoretisch notwendiger Luftmenge bei Verbrennungen**, d. h. $\lambda = L_{\text{wirkl}}/l_{\text{min}}$.

Es herrscht Luft-(Sauerstoff-)Mangel bei $\lambda < 1$, Luftüberschuß bei $\lambda > 1$; bei $\lambda = 1$ spricht man von *luftsatter Verbrennung.*

Für einen oxydierend geführten Brand gelten angenähert folgende Werte:

– gasförmige Brennstoffe $\lambda = 1{,}05$ bis 1,2,
– Kohlenstaub und flüssige Brennstoffe $\lambda = 1{,}2$ bis 1,4,
– feste Brennstoffe in mechanischen Feuerungen $\lambda = 1{,}3$ bis 1,5,
– feste Brennstoffe in Handfeuerungen $\lambda = 1{,}6$ bis 2,0.

(Bei festen Brennstoffen ist es schwierig, an jedes Brennstoffteilchen die notwendige Sauerstoffmenge heranzuführen.)

[419, 526]

Lumineszenz (lat.: lumen = Licht) – *Emission* von Licht nach vorangegangener Anregung durch Energieabsorption.* Durch die Energiezufuhr werden Valenzelektronen auf ein höheres Energieniveau gehoben; das Zurückfallen erfolgt unter Lichtaussendung. Je nach dem energetischen Charakter der Anregung wird unterschieden:

– Photolumineszenz – Anregung durch UV-Licht,
– Radiolumineszenz – Anregung durch α-, β-, γ-Strahlung
– Thermolumineszenz – Anregung durch Temperaturen >100 °C,
– Tribolumineszenz – Anregung durch mechanische Einwirkungen.

In den meisten Fällen ist der diadoche* Einbau von Spurenelementen in das Wirtsgitter verantwortlich, aber auch radioaktive Elemente oder Gitterdefekte können eine Rolle spielen (sog. Aktivatoren*).

Erfolgt das Leuchten nur während der Anregung, spricht man von Fluoreszenz, tritt das Leuchten zeitlich vergrößert auf, von Phosphoreszenz. Mit Hilfe der L.-Analyse können Spurenelemente in kristallinen Stoffen nachgewiesen werden, z.B. Al-

kalien in α-Al_2O_3; eine Unterscheidung von natürlichen und synthetischen Kristallen wird möglich u. a. [8]

Lunker – *durch Luft- bzw. Gaseinschlüsse in schlickergegossenen Artikeln oder durch Kontraktion der erstarrenden Schmelze bei schmelzflüssig gegossenen feuerfesten Steinen entstandene Hohlräume.* L. können durch verschiedene technologische Maßnahmen weitgehend vermieden werden; beim Schlickergießen z. B. durch Evakuieren des Schlikkers, Verwendung spezieller Gießhähne u. a., bei schmelzflüssig gegossenen feuerfesten Steinen durch Nachgießen nach einer gewissen Zeit, durch Gießen mit »verlorenem Kopf« (d. h., in dem Kopfstück konzentrieren sich die L., es wird nachfolgend abgetrennnt). In Einzelfällen kann eine Verdichtung auch durch Vibration der Formen erreicht werden. L. bilden sich nicht, wenn zwischen Schmelze und Kristallisat kein Dichteunterschied besteht. [168]

Lüster (lat.: lustrare = hellmachen)

1) Porzellan- und Glasfarben, die auf den glattgebrannten Scherben aufgetragen, bei etwa 800 bis 850 °C eingebrannt werden und sich nach dem Einbrennen als hauchdünne, glänzende, häufig irisierende Schicht auf der glasigen Unterlage abscheiden.

L. stehen den Glanzedelmetallpräparaten nahe und sind ebenfalls organische Metallverbindungen, scheiden sich aber nicht als zusammenhängende Metallschicht ab, sondern entsprechend ihrer starken Affinität zu Sauerstoff als Oxide.

Man unterscheidet:

- Goldhaltige L. mit Goldgehalten von 0,75 bis 52,0 g kg^{-1} Farbe; so ergibt Gold mit Ti blaue, mit Si rote und mit Fe bzw. U grüne Lüsterfarben.
- Farblose L.; sie verleihen der Glasuroberfläche einen eigenartigen Hochglanz. Da ihre Schichtdicke im Bereich der Wellenlänge des Lichtes (400 bis 800 nm) liegt und sie einen von der Unterlage abweichenden Brechungsindex besitzen, zeigen diese L. schillernde Irisfarben, sog. *Newton*sche Farben. Besondere Effekte entstehen, wenn farblose L. auf Farbglasuren aufgebracht werden. Diese Gruppe – auch Perlmuttlüster genannt – enthält neben Bismutoxid noch gewisse Anteile an Tonerde, Blei- und Zinkoxid.
- Farbige L. entstehen, wenn die färbenden Oxide des Fe, Mn, Cu, U mit in den Versatz eingeführt werden, so daß sich deren Eigenfarbe zu dem charakteristischen Lüsterglanz addiert.
- Krakeleelüster bilden sich dadurch aus, daß auf den annähernd trockenen Lüsteranstrich eine Flüssigkeit mit hoher Oberflächenspannung (z. B. Glycerin) aufgetragen wird, die durch ihre Kontraktion dann den Lüsterfilm einreißt (*Degussa*-Patent).

Zusammenfassend werden diese L. auch als Dekorlüster oder Streichlüster bezeichnet, im Gegensatz zu den Glasurlüstern*.

H. Kohl gibt zur Herstellung von L. folgende Rezepturen an als Beispiele:

- *Trockenverfahren:* 10 Gew.-% basisches Bismutnitrat, 25 Gew.-% Kolophonium und 65 Gew.-% Terpentin- und/oder Lavendelöl werden unter ständigem Umrühren erhitzt.
- *Naßverfahren:* Aus 500 g Kolophoniumpulver und 300 g 33 %iger NaOH wird unter ständigem Umrühren die sog. Harzseife gekocht. Aus diesen Harzseifen werden die Metallresinate dargestellt, z. B. das Uranresinat durch Umsetzung von 500 g in Wasser gelöstem Urannitrat mit 1 kg Harzseife, die in 2 l Wasser gelöst wurde. Der Niederschlag wird ausgewaschen, in Lavendelöl gelöst und beim Auftragen notfalls mit einer Mischung von Lavendel-Rosmarinöl verdünnt.

2) Mit L. werden auch größere gläserne Kronleuchter bezeichnet.

[100, 307, 358]

Lüsterglasuren (Scharffeuerlüster) – *eine Gruppe von Glasuren*, sog. Reduktionsglasuren*, bei denen sich durch die reduzierende Wirkung der Ofenatmosphäre beim Brande dünne Metallhäutchen ausscheiden und damit den irisierenden Lüstereffekt ausbilden.*

Die Basis von L. stellen leichtflüssige Glasuren/Fritteglasuren dar, die mit 0,5 bis 3,0 Gew.-% Oxiden der Metalle Bismut, Silber, Nickel, Kupfer, Eisen u. a. versetzt sind.

Nach *H. Hecht* erhält man einen sehr schönen Lüster durch Zusatz von 2 % Silbercarbonat zu folgender Fritteglasur:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}3\ CaO \\ 0{,}2\ MgO \\ 0{,}5\ Na_2O \end{array}\right\}\ 0{,}2\ Al_2O_3\ \left\{\begin{array}{l} 2{,}5\ SiO_2 \\ 0{,}3\ B_2O_3 \end{array}\right.$$

Der Lüster entsteht bei etwa 800 °C in schwach reduzierendem Feuer. [51, 164]

M

Macheleid, Georg Heinrich – erfand 1759, unabhängig von *Böttger*, in Sitzendorf das Porzellan. Das führte zur Gründung der »Ältesten Volkstedter Porzellanmanufaktur«. M. wurde 1723 als Sohn eines Laboranten geboren, studierte in Jena Theologie, wurde aber Naturforscher. Er schied 1764 aus der Manufaktur aus. 1801 starb er in Schwarzburg.

Magerungsmittel – *unbildsame Rohstoffe* (Schamotte, Quarz, Glühscherben, unglasierte Glattscherben, Ziegelmehl, Magnesit, Dolomit, Chromit, Bauxit; magere Tone und Feldspat bei niedrigen Temperaturen), *die bildsamen Rohstoffen* (u. a. Fettonen) *zugesetzt werden, um deren Schwindung herabzusetzen.* Sie wirken einem Verziehen und Reißen entgegen, sorgen für eine gleichmäßige Trocknung. Eine zu starke Magerung führt zu einer zu hohen Porosität, zu Gefügelockerung, zu geringer Scherbenfestigkeit. Andererseits wird mit Erhöhung des Magermittel-Anteils der Austritt des Wassers aus dem Scherbeninneren erleichtert und damit die Dauer des Trockenprozesses vermindert. Außerdem kommt dem Körnungsspektrum der M. eine wesentliche Bedeutung zu. [163]

Maghemit – *s.* Eisenoxide

Magnesiachromit (Periklas-Chromit) – *auf der Basis von Magnesia und grobkörnigem Chromerz* (mit einem Cr_2O_3-Gehalt von 30 bis 60 %) *hergestellte feuerfeste Steine.*

Physikalische Eigenschaften: schwarzbraun; rauhere Oberfläche als beim Magnesiastein (durch grobkörnige Textur); $\varrho_R = 2{,}9$ bis $3{,}1\,g\,cm^{-3}$, $\varrho_o = 3{,}8$ bis $3{,}9\,g\,cm^{-3}$; mittl. therm. $AK = 9{,}2 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$ bis 1200 °C

Verwendung: Lieferung als Stahlmantelsteine, meist ungebrannt chemisch gebunden (wegen ihrer guten Volumenbeständigkeit beim Brand); für Decken und Wände in SM-Öfen

Magnesiasteine (Periklassteine) – *auf der Basis von Sintermagnesia hergestellte feuerfeste Steine, die sich durch hohe Druckfeuerbeständigkeit* ($t_{0,6}$-Werte: 1650 bis 1700 °C, t_b-Werte: 1750 bis 1830 °C) *auszeichnen.* Die chemische Zusammensetzung bewegt sich in den Grenzen: 85 bis 90 % MgO, 1,5 bis 3 % CaO, 4 bis 8 % Fe_2O_3, 0,8 bis 3 % SiO_2, <1 % Al_2O_3. M. leiten den elektrischen Strom schlecht, verlieren oberhalb 900 °C ihre isolierende Wirkung (Ionenleiter). Sie sind sehr raumbeständig und sehr widerstandsfähig gegenüber basischen Stoffen, nicht gegenüber Säuren.

Neben diesen handelsüblichen M. kennt man noch eine Reihe von Spezialqualitäten, die insbesondere durch eine gute *TWB* und hohe Verschlackungsfestigkeit charakterisiert sind. Diese Eigenschaftsverbesserungen werden erreicht durch

- Zusatz von Chromerz,
- Zusatz von Korund oder anderen hochtonerdehaltigen Stoffen,
- Ersatz von Sintermagnesia durch Schmelzmagnesia,
- besonderen Kornaufbau, wobei das Mittelkorn eliminiert ist.

Magnesioferrit ($MgO \cdot Fe_2O_3$)

Kristallographie: inverser Spinell*; gehört zum Phasenbestand der Magnesiachromsteine.

Physikalische Eigenschaften: schwarzbraun; $D = 4{,}2$ bis $4{,}6\,g\,cm^{-3}$; $H = 6$; $n = 2{,}39$; $Fp = 1750$ °C

s. Ferrite

Magnesit (Bitterspat, $MgCO_3$)

Kristallographie: trigonal; dichter, feinkörniger M. chemisch sehr rein (Insel Euböa)

Physikalische Eigenschaften: weiß mit grauer Tönung; $D = 2{,}9$ bis $3{,}1\,g\,cm^{-3}$; $H = 4$ bis 4,5; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}700$, 1,717, $n_\varepsilon = 1{,}509$, 1,515, $\Delta n = -0{,}191$, $-0{,}202$

Chemische Eigenschaften: löst sich in warmer HCl; dissoziiert bei etwa 510 °C in MgO und CO_2

Verwendung: wichtigster Rohstoff für Schmelz- und Sintermagnesia; Flußmittel in Glasuren.

Magnesiumoxid (MgO)

1) Kaustische Magnesia – voluminöses, farbloses Pulver; $D = 3{,}662\,g\,cm^{-3}$; wandelt sich je nach Herstellung in Wasser langsam (oder nicht) in $Mg(OH)_2$ um.

2) Periklas

Kristallographie: kubisch

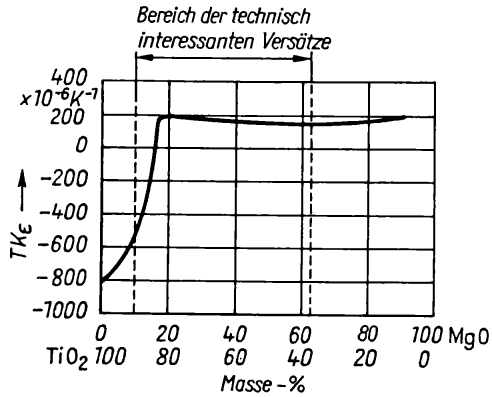
Physikalische Eigenschaften: farblos; $H = 6$; $D = 3{,}57\,g\,cm^{-3}$ bei Einkristallen, die Dichte des durch Glühen von Magnesit bei ≈1300 °C erhaltenen Periklas liegt bei $3{,}60\,g\,cm^{-3}$; $n = 1{,}737$; $T_S = 2640$ °C. Periklas wird in Gegenwart von freiem Kohlenstoff leicht reduziert, ist sonst über 2000 °C gut beständig; $\alpha_{1000} = 14 \cdot 10^6\,K^{-1}$ und $\alpha_{1800} = 16 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$.

M. erfährt während der Erwärmung keine Modifikationsänderung. Wegen der hohen Ausdehnung ist die *TWB* der MgO-Erzeugnisse gering. In der Natur kommt Periklas selten vor, deshalb muß auf die Carbonate, Chloride, Sulfate oder Hydroxide des Mg zurückgegriffen werden.

Magnesiumsilicate

1) Weitverbreitete, z. T. gesteinsbildende Minerale, wie Forsterit*, Olivin*, Enstatit*, Talk*, einige Glimmerarten.

2) Werkstoffe auf der Basis von M. ($MgSiO_3$) haben sich als Dielektrika gut eingeführt. Sie erreichen zwar nur niedrige Werte der *DK*, zeichnen sich aber durch einen positiven Temperaturkoeffizienten und elektrische Festigkeit aus und sind besonders für Kleinstwertkondensatoren geeignet.



Temperaturkoeffizienten der Dielektrizitätszahl des Zweikomponentensystems $MgO-TiO_2$

Magnesiumsulfat ($MgSO_4$) – in kristallwasserfreiem Zustand ein farbloses Pulver mit $D = 2{,}66\ g\ cm^{-3}$. Mit Wasser bildet es Hydrate mit einem bis zwölf Molen Kristallwasser. Wichtig ist $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ als sog. Bittersalz, das an feuchter Luft beständig ist. Kristallwasserhaltiges M. wird häufig als Ausblühung am Mauerwerk beobachtet.

Magnesiumtitanate – *Werkstoffgruppe des Zweikomponentensystems $MgO-TiO_2$* (vorwiegend $2MgO \cdot TiO_2$ = Magnesiumorthotitanat; $MgO \cdot TiO_2$ = Magnesiummetatitanat), die bei einer *DK* von 14 bis 20 sich durch geringe Verluste ($\tan\delta \leqq 3 \cdot 10^{-4}$) auszeichnet und in Abhängigkeit von der Zusammensetzung einen beliebigen Temperaturkoeffizienten TK_ε im Bereich $-800 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$ bis $+160 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$ erreicht (s. Bild oben). [126, 239]

Magnetismus – *Lehre von den magnetischen Erscheinungen in Stoffen und vom magnetischen Feld.* Die Bezeichnung wird mit der kleinasiatischen Stadt Magnesia in Zusammenhang gebracht, in deren Nähe das magnetische Eisenerz Fe_3O_4 (Magnetit) gefunden wurde.

Magnetismus ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie und tritt in den unterschiedlichen Erscheinungsformen als *Dia-, Para-, Ferro-, Antiferro- und Ferrimagnetismus* auf. Die Form und die Stärke der Wechselwirkungen zwischen Materie und Magnetfeld äußern sich in der Permeabilitätszahl* μ_r und im Vorzeichen und Zahlenwert der Suszeptibilität χ_m:

- Diamagnetika: μ_r ist wenig kleiner als 1, $\chi_m < 0$
- Paramagnetika: μ_r ist wenig größer als 1, $\chi_m > 0$
- Ferromagnetika: μ_r hat Werte bis über 10^6, $\chi_m \gg 0$.

Allgemein ordnet man Antiferromagnetika den Paramagnetika und Ferrimagnetika den Ferromagnetika zu (s. Bild 1). Nach dem *Bohr*schen Atommodell umkreisen negativ geladene Elektronen den positiv geladenen Kern auf stationären Bahnen. Aus diesen Bewegungen von elektrisch geladenen Teilchen resultiert für jedes Atom ein magnetisches Moment, das sich vektoriell ergibt aus:

- dem Bahnmoment der Elektronen um den Kern,
- dem Spinmoment durch die Drehung der Elektronen um die eigene Achse (die Maßeinheit dieser beiden Momente ist das *Bohr*sche Magneton μ_B),
- dem Kernmoment,

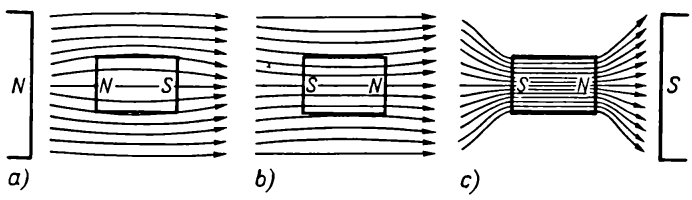


Bild 1: Magnetisches Stoffverhalten im homogenen Feld
a) diamagnetischer Körper ($\mu_r < 1$)
b) paramagnetischer Körper ($\mu_r > 1$)
c) ferromagnetischer Körper ($\mu_r > 1$)

letztere liefert nur einen sehr geringen Beitrag zum Gesamtmoment und wird unter technischen Aspekten vernachlässigt.

Diamagnetismus

Stoffe, deren Atome/Ionen vollbesetzte Elektronenschalen (Edelgaskonfiguration) besitzen, zeigen kein resultierendes Moment. Innerhalb der Atomhülle dieser Stoffe erfolgt eine vollständige Kompensation aller magnetischen Momente. In einem äußeren Magnetfeld präzessieren die Atome dieser Stoffe wie ein mechanischer Kreisel unter dem Einfluß einer mechanischen Kraft, d. h., die Drehimpulsvektoren beschreiben um die Feldrichtung einen Präzessionskegel (sog. Larmor = Präzession). Diamagnetische Stoffe werden aus dem Magnetfeld schwach herausgedrängt; die Suszeptibilität ist negativ, relativ klein und temperaturunabhängig. Bekannte Beispiele sind Pt, Al, Sn, Mg u. a. Im Prinzip tritt dieser Effekt bei jedem Atom auf, wird jedoch oft durch andere magnetische Erscheinungen überdeckt.

Paramagnetismus

Diese magnetische Erscheinung tritt bei solchen Stoffen auf, bei denen in einem Atom bei ungerader Elektronenzahl eine Elektronenschale nicht voll besetzt ist. Dann kompensieren sich auch die magnetischen Momente nicht vollständig. Im feldfreien Raum nehmen die Momente durch die thermische Energie eine statistisch regellose Orientierung ein, d. h., nach außen ist keine Magnetisierung wahrnehmbar. Äußere Magnetfelder erzwingen zwar eine Drehung der Elementarmagnete in Feldrichtung, jedoch können mit technischen Feldstärken keine vollständige Parallelstellung und auch keine magnetische Sättigung erreicht werden. Paramagnetische Eigenschaften findet man bei Übergangselementen und Seltenerdenmetallen.

Ferromagnetismus

Der Aufbau der Einzelatome von ferromagnetischen Stoffen entspricht dem der paramagnetischen, d. h. eine unabgeschlossene innere Elektronenschale. Unkompensierte Elektronenspins verleihen den Atomen ein schwaches Moment. Bei festen ferromagnetischen Stoffen sind aber zwischen den einzelnen Atomen Kräfte vorhanden, die eine Vielzahl benachbarter Atommomente entgegen der desorientierenden Wärmebewegung ausrichten und zu *Weiß*schen Bezirken zusammenfassen (auch Domänen genannt). Das mittlere magnetische Moment dieser Bezirke wird etwa um den Faktor 10^{15} größer geschätzt als bei einem einzelnen Moment. Die Größe der *Weiß*schen Bezirke ist in der Regel nicht mit der Kristallitgröße identisch und umfaßt ein Volumen von 0,1 bis 0,001 mm^3. Diese Ausrichtung bewirkt jedoch an sich noch keine außen spürbare makroskopische Magnetisierung, weil die Richtungen der spontanen Magnetisierung zwischen den einzelnen Bezirken statistisch regellos verteilt sind.

Weiterhin sind ferromagnetische Eigenschaften nur bei einem ganz bestimmten Verhältnis von Atomdurchmesser a zum mittleren Radius r der unabgeschlossenen inneren Elektronenschale zu erwarten. Dieses Verhältnis wird im Kristallgitter zu 3,2 bis 6,2 bestimmt (*Heißenberg*-Modell) (s. Bild 2). Eine vollkommene Ausrichtung der Spinmomente der *Weiß*schen Bezirke ist nur bei 0 K gegeben. Mit steigender Temperatur stört die Wärmebewegung die Spinordnung, und schießlich verschwindet die spontane Magnetisierung bei einer charakteristischen Temperatur, der sog. *Curie*-Temperatur T_C; die Materie befindet sich dann im paramagnetischen Zustand.

Antiferromagnetismus

Bei einigen Elementen und Verbindungen verklei-

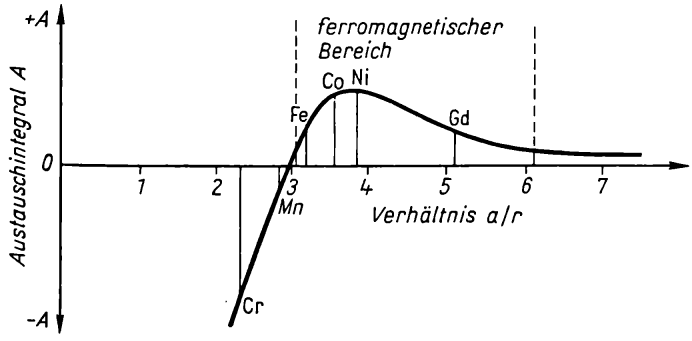
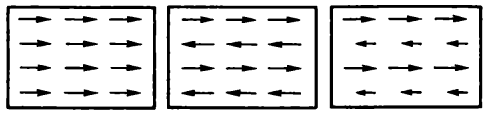


Bild 2. Abhängigkeit des Austauschintegrals A vom Verhältnis Atomdurchmesser a zu mittlerem Radius r der nicht abgeschlossenen inneren Elektronenschale

nert sich das Verhältnis *a/r* unter den Wert von 3,2, und damit wird das Austauschintegral negativ (s. Bild 2). Damit stellen sich die benachbarten Spinmomente in die energetisch günstigere antiparallele Lage. Sind diese von gleichem Betrag, so kompensieren sie sich. Ähnlich wie der Ferromagnetismus ist der Antiferromagnetismus temperaturabhängig, und bei einer kritischen Temperatur bricht die antiparallele Spinanordnung zusammen; die Stoffe verhalten sich paramagnetisch. Beispiele für antiferromagnetisches Verhalten sind Mn, NiO, V_2O_5, MnS, FeF_2, $NiCl_2$ u. a.

Ferrimagnetismus

Bei Mischkristallen, die sich aus unsymmetrischen magnetischen Teilgittern aufbauen, d. h., die Untergitter enthalten eine unterschiedliche Zahl von Ionen oder überhaupt verschiedenartige Metallionen, können sich die Momentvektoren der antiferromagnetischen Struktur nicht kompensieren. Es entsteht ein Differenzmoment, bei dem sich *Weiß*sche Bezirke aufbauen (s. Bild 3).



a) *b)* *c)*

Bild 3. Schematische Charakterisierung verschiedener Spinordnungen
a) Ferromagnetismus
b) Antiferromagnetismus
c) Ferrimagnetismus

Ferrimagnetische Stoffe verhalten sich weitgehend wie Ferromagnetika, jedoch liegt die Sättigung niedriger. Die Temperaturabhängigkeit der spontanen Magnetisierung kann jedoch einen komplizierten Verlauf nehmen, wenn sich die Untergitter unterschiedlich verhalten. Ferrimagnetika kristallisieren im kubischen Gitter des Spinells* und Granats* und im hexagonalen Gitter mit Magnetoplumbitstruktur. Technisch bedeutsame Werkstoffe sind die Ferrite*. [409]

Magnetit – *s.* Eisenoxide

Magnetostriktion (lat.: stringere = zusammenziehen)

1) Spontane M. tritt auf, wenn Körper beim Abkühlen aus ihrem paramagnetischen Zustand oberhalb der *Curie*temperatur in den ferromagnetischen Zustand unterhalb derselben übergehen.

2) Pauschale makroskopische M., die beim Anlegen eines äußeren Feldes eintritt; dabei ist eine Längenänderung $\lambda = \Delta l/l$ zu beobachten. Für Kristalle mit kubischer Symmetrie gilt:

$$\lambda_S = \tfrac{2}{5}\lambda[100] + \tfrac{3}{5}\lambda[111]$$

λ_S Sättigungsmagnetostriktion des Polykristalls
$\lambda[100]$ Sättigungsmagnetostriktion des Einkristalls in [100]-Richtung
$\lambda[111]$ Sättigungsmagnetostriktion des Einkristalls in [111]-Richtung.

Der Ferrit $Co_{0,8}Fe_{0,2}Fe_2O_4$ weist z. B. folgende Werte auf:

$\lambda[100] = -590 \cdot 10^{-6}$; $\lambda[111] = +120 \cdot 10^{-6}$;
$\lambda_S = -164 \cdot 10^{-6}$.

Mit der M. verbinden sich Veränderungen der technischen Parameter, der Hysteresekurve u. a. [256]

Magnetscheidung – *Abtrennen von Teilchen unterschiedlicher Magnetisierbarkeit während des Transportes durch ein inhomogenes Magnetfeld, entweder aus einem trockenen Körnerhaufwerk oder aus einer fließfähigen Suspension.*

Körnerhaufwerke werden im allgemeinen durch Starkfeldabscheider (Induktion >1 T) gegeben, wobei auch paramagnetische Minerale wie Anatas*, Pyrit u. a. erfaßt werden.

Für die in Porzellanbetrieben zur Enteisenung von Schlickern in Fließrinnen eingesetzten Permanent- oder Elektromagneten (Induktion 0,06 bis 0,1 T) gelten nach *Löffler/Seifert* folgende Vorgaben:

- Strömungsgeschwindigkeit des Schlickers unter 6 cm s^{-1},
- erzwungene Strömung des Schlickers zur Gewährleistung einer gezielten Anströmung der Magnete,
- geringes Schlickerniveau über der Magnetoberfläche.

[15, 423]

Magnetschlittenofen – *s.* Schnellbrandofen

Mahlbarkeit – *Beurteilung der zerkleinerungstechnischen Eigenschaften des zu vermahlenden Gutes; M. kann als reziproker Wert des Mahlwiderstandes aufgefaßt werden.*

Die M. eines Gutes ist von folgenden Einflußgrößen abhängig (nach *Schöps*):

- Zerkleinerungseigenschaften des Werkstoffs,
- Verhalten des Materials als Körnerkollektiv im Gegensatz zur Zerkleinerungseigenschaft des Einzelkorns,

- Einfluß des Zerkleinerungsprinzips bzw. des Mahlaggregats auf den Zerkleinerungsmechanismus im Körnerkollektiv.

Das Zerkleinerungsgut wird durch Druckfestigkeit*, Zugfestigkeit*, Schlagbiegefestigkeit* und Härte* charakterisiert, wobei es Relationen zwischen diesen Eigenschaften gibt. Gewöhnlich werden Mahlbarkeitsbestimmungen in einem Laborprozeß ausgeführt, dem das gleiche Zerkleinerungsprinzip wie dem Produktionsprozeß zugrunde liegt. Die Mahlbarkeitskenngröße wird dann meist als Verhältnis des Energieaufwandes von Test- zu Standardmaterial (z. B. Quarz) bei gleicher Feinheit oder als Verhältnis der erreichten Feinheiten bei gleicher Energieaufnahme angegeben, d. h., es wird die Gültigkeit des *Rittinger*-Gesetzes (Zerkleinerungsgesetz) unterstellt, wonach der Energieaufwand der erzeugten Oberfläche proportional ist. [112, 424]

Mahlen – *Zerkleinern von Materialien mit Hilfe von Mühlen* zu fein- und feinstkörnigem Gut.*

Die Auswahl eines Mahlverfahrens für den keramischen Fertigungsprozeß hat in Rechnung zu stellen:

- die Zerkleinerungseigenschaften des Mahlgutes,
- die Korngröße des Aufgabematerials, die geforderte Mahlfeinheit* und ggf. Anforderungen an die Kornbandbreite,
- die Bedingungen für die Zerkleinerung, die sich aus dem Gesamtprozeß ergeben.

Das M. selbst kann in unterschiedlicher Verfahrensauslegung erfolgen:

- Arbeitsweise: kontinuierlich, diskontinuierlich,
- Kreislaufmahlung (meist mit innerer oder äußerer Sichtung zur Abtrennung der ermahlenen Feinanteile),
- Naß- und Trockenmahlen,
- Mahltrocknung*,
- Kryomahlung (Absenkung der Temperatur zur Erhöhung der Sprödigkeit des Mahlgutes und damit Verbesserung der Mahlbarkeit*),
- Hochtemperaturmahlung (Erhöhung der Temperatur im Mahlraum zur gleichzeitigen Durchführung der Zerkleinerung und einer Festkörperreaktion* unter Ausnutzung mechanochemischer Effekte),
- Autogenes M. (Wirkung von Aufgabegutpartikeln als Mahlkörper*).

[112]

Mahlfeinheit (Kornfeinheit, Siebfeinheit) – *charakteristische Eigenschaft pulverförmiger Stoffe.* Durch Angabe der Korngröße, der Korngrößenverteilung und der spezifischen Oberfläche des Pulvers ist es möglich, den Mahlerfolg zu beurteilen. Die M. hat wesentlichen Einfluß auf die Reaktionsfähigkeit des Materials.

s. Korngrößenkennwerte, BET-Verfahren

Mahlhilfsmittel – *grenzflächenaktive Stoffe, die in geringen Mengen dem zu zerkleinernden Material zugesetzt werden und die auf die Elementarprozesse beim Mahlvorgang einwirken*; meist handelt es sich um Tenside*.

Zur Wirkungsweise von M. gibt es folgende Thesen: *Rehbinder*-Effekte*, sie verbessern die Fließeigenschaften zwischen den Mahlgutteilchen und mindern damit die Agglomeratbildung; sie verringern den Arbeitsbedarf für die plastische Deformation der Teilchen bei der Zerkleinerung. [112]

Mahlkörper – *kugelförmige, zylindrische oder tonnenartige, aus Flint, Porzellan, Al_2O_3, Stahl u. a. bestehende Körper, die in den verschiedensten Größen in Kugel- und Trommelmühlen o. ä. gegeben werden,* um das dort befindliche Gut zu zerkleinern. Durch den sich drehenden Mahlraum zertrümmern und zerreiben sie das Mahlgut. Die Mahlkörpergrößen sind u. a. von der Ausgangsgröße des Mahlgutes, den Abmessungen der Mühle und der Umdrehungszahl des Mahlraumes abhängig.

Mahltrocknung – *Kopplung zweier Aufbereitungsprozesse – der Feinzerkleinerung und der Trocknung.* M. ist trocknungstechnisch sehr vorteilhaft, weil durch die Zerkleinerung immer neue Oberfläche freigelegt wird, d. h., der Wasseranteil, der aus dem Korninneren an die Oberfläche diffundieren muß, ist klein. Bei scharfer Trocknung können die im Korn entstehenden Temperaturschwankungen die Zerkleinerung erleichtern. Die Wärmeübertragung erfolgt in der Regel durch Konvektion, während die Kontakttrocknung durch die Zerkleinerungswerkzeuge unbedeutend ist bzw. nur zu einer ungleichmäßigen Trocknung führt. Man unterscheidet die M. in Schläger- und Prallsystemen (sog. Pralltrocknung) und die M. in Rohrmühlen-Sichter-Systemen.

Majolika – *nach der Insel Mallorca benannte Töpferware* mit feinkörnigem, porösem, creme- oder gelbfarbigem Scherben, mit farbiger oder weißgetrübter Glasur, farbig bemaltem Anguß un-

ter durchsichtiger Bleiglasur, auch farbigen durchsichtigen Glasuren. Die Glasuren wurden für den Bereich 1 100 bis 1 180 °C unter Verwendung von PbO, Alkalien und Erdalkalien als Flußmittel hergestellt. Die italienischen Erzeugnisse waren mit Scharffeuerfarben bemalt, wobei Blau und Gelb vorherrschten. Die Blütezeit der M. fällt in das 16. Jh. M. wird auch heute noch aus Steingutmasse, mit weißem Scherben, farbigen, durchsichtigen Glasuren hergestellt.

Majolikaemail – *eine Gruppe von bleihaltigen und bleifreien Emails, die durch gelöste Farboxide gefärbt, aber vollkommen transparent sind.* M. wird auf ein helles Grund- oder Deckemail aufgeschmolzen, so daß der helle Untergrund an den erhabenen Stellen und Kanten durchscheint.

Majolikafarbe – *Mischungen von Farbkörpern mit tonigen Bestandteilen und Flüssen.* Es wird empfohlen, der Grundglasur etwa 0,1 bis 0,3 % eines Klebemittels zuzusetzen, um die Griffestigkeit zu erhöhen. Die M. wird auf die noch ungebrannte (rohe) Glasur aufgetragen. Im allgemeinen unterscheidet man zwei Gruppen von M.:

1) M., die vor allem auf weißen oder hellen Glasuren Anwendung finden.

2) M., die sowohl auf schwarzen oder dunklen als auch auf weißen Glasuren in deckender Malweise eingesetzt werden können.

Die Einbrenntemperatur beträgt 1 050 bis 1 100 °C.

Malachit ($Cu_2[(OH)_2/CO_3]$; griech.: malakos = weich; wegen der geringen Härte)

Kristallographie: monoklin; Kristalle selten; meist in kollomorpher Form mit glaskopfartiger Oberfläche

Physikalische Eigenschaften: grün; $H = 4$; $D = 4{,}0$ g cm^{-3}; $n_{\alpha,\beta,\gamma} = 1{,}655$; 1,875; 1,909, stark pleochroitisch

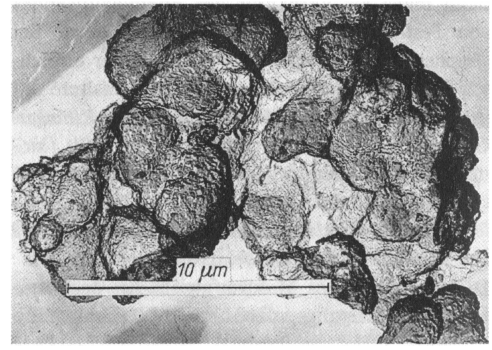
Verwendung: fast ausschließlich für kunstgewerbliche Arbeiten.

[8]

Malhörnchen – *Bezeichnung für kleine Gefäße aus Töpferton, Steingut oder Porzellan, in deren Auslauföffnungen ein Federkiel oder ein Plasteröhrchen steckt.* Durch Neigen des M. fließt der darin enthaltene Schlicker oder die Engobe langsam aus. Auf diese Weise werden in sog. Schlickermalerei Striche, Bänder, Punkte, geometrische Muster usw. auf dem weißen oder farbigen Untergrund angebracht oder weiße Punkte usw. auf die blaue, feine Engobe gesetzt.

Malmittel – *ölige und harzige bzw. verharzende Flüssigkeiten, die zum Aufmischen der Farben gebraucht werden,* um diese geschmeidig und malfähig zu machen und haftfähig werden zu lassen. Bei Unterglasurfarben werden Wasser, Zuckerstoffe, Glyzerin, Dextrin, Gummiarabikum, bei Aufglasurfarben meist etherische Öle verwendet. Die M. hinterlassen nach dem Brand keine Rückstände.

Mangancarbonat ($MnCO_3$) – *basisches Carbonat* (s. Bild) mit wechselnder Zusammensetzung.



Elektronenmikroskopische Aufnahme von Mangancarbonat (60 kV, Hüllabdruck)

Dem weißen Monohydrat entspricht die Formel $MnCO_3 \cdot H_2O$. Beim trockenen Erhitzen dissoziiert M. in MnO und CO_2; beim Glühen an Luft bildet sich Mn_3O_4, im Sauerstoffstrom Mn_2O_3. In der Natur kommt M. als *Manganspat* oder *Rhodochrosit* vor.

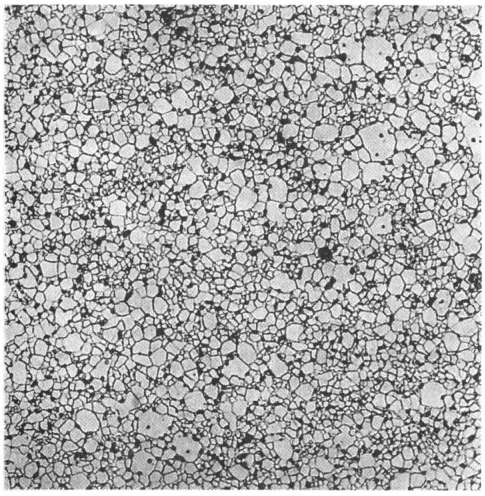
Kristallographie: trigonal

Physikalische Eigenschaften: himbeerrot; $H = 4$; $D = 3{,}6$ bis 3,7 g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}817$, $n_\varepsilon = 1{,}597$, $\Delta n = -0{,}220$

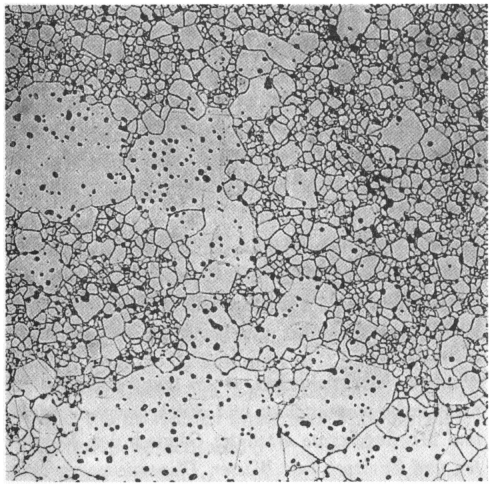
Verwendung: Rohstoff für Ferrite, färbende Verbindungen in Glasuren und Massen.

Mangan-Zink-Ferrit – *weichmagnetische Ferrite* von der ungefähren Zusammensetzung: 52 bis 58 Mol-% Fe_2O_3, 19 bis 23 Mol-% ZnO, 24 bis 28 Mol-% MnO. M.-Z.-F. zeichnen sich durch hohe Anfangspermeabilität und geringe magnetische Verluste aus. Da Mangan mehrere Oxydationsstufen bildet, muß beim Abkühlen nach dem Brand eine Reoxydation verhindert werden.

In den nachfolgenden Schliffbildern wird die Abhängigkeit der Kornstruktur von der Aufmahlung des vorgesinterten Ferritpulvers bei gleicher Endsinterung des U-Kernes dargestellt:



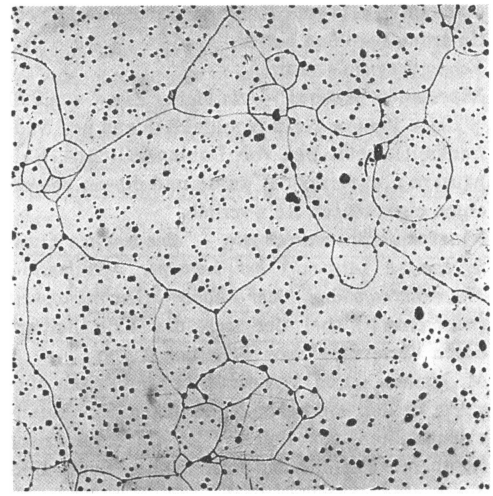
a)



b)

a) relativ homogene Kornverteilung, Poren fast nur in den Korngrenzen,
b) Duplex-Struktur mit Poren in den Korngrenzen (Feinkornbereich) und Poren im Korn (Grobkornbereich),
c) übergroßes Kornwachstum mit vorwiegend intragranularer Porosität.
Die dargestellte Abhängigkeit wird durch viele Faktoren des Keramikprozesses modifiziert, z. B. durch Rohstoffe, Vorsintertemperatur, Mahlaggregat, Endsinterung.

Manufaktur lat.: manus = Hand, facere = machen) – *ein Betrieb, in dem vorwiegend noch in Handarbeit produziert wird.* Die ersten keramischen M. entwickelten sich im Mittelalter unter dem Einfluß der Mauren in Spanien, weitere entstanden in Italien, Frankreich und Holland. Die Erzeugnisse wurden unter der Bezeichnung *Fayence, Majolika* und *Delfter Ware* bekannt. 1710 wurde die erste Porzellanmanufaktur Europas in Meißen gegründet. Nach wenigen Jahren folgten Gründungen in Wien*, Höchst*, Nymphenburg*, Berlin*, Fürstenberg*, Petersburg*, Kopenhagen*, Sèvres*, im Thüringer Raum in Volkstedt*, Lichte-Wallendorf*, Ilmenau*, Blankenhain* usw. Der Manufakturcharakter der keramischen Betriebe blieb sehr lange erhalten. Erst in den letzten Jahrzehnten ermöglichten Forschung und Technik erhebliche Fortschritte auf diesem Gebiet.



c)

U-Kern zur Leistungsübertragung aus MnZn-Ferrit (V: 225:1)
Aufmahlung in der Kugelmühle:
a) 30 min, *b*) 60 min, *c*) 120 min
Aufnahmen: Magnetlabor Keram. Werke Hermsdorf

Markasit (FeS_2) – *eine instabile Modifikation des* FeS_2, die sich bei etwa 520 °C monotrop in Pyrit umwandelt.
Kristallographie: orthorhombisch
Physikalische Eigenschaften: messinggelb; $H = 6$ bis 6,5; $D = 4{,}8$ bis 4,9 g cm^{-3}.

Marmor – *dichte, körnige Aggregate von Kalkstein* ($CaCO_3$). Reiner M. sieht weiß aus, Eisen-

oxide rufen gelb-rote, Kohle schwarze und Serpentin grüne Farbtöne hervor.
Verwendung: in Glasuren.

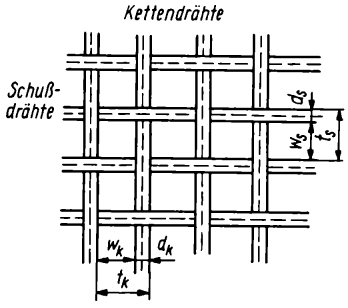
Marseiller Ziegel – *ein kleiner Ziegel* von 220 × 105 × 50 mm, der in Norddeutschland und Südfrankreich beim Bau von Domen, Kirchen, Rathäusern u. a. verwendet wurde und diesen Bauten einen eigenartigen Reiz verlieh.

Martensitumwandlung – *eine von den Eisenlegierungen (Austenit) her bekannte diffusionslose Phasenumwandlung sehr hoher Geschwindigkeit* ($\approx 10^5$ cm s^{-1}), bei der sich das Kristallgitter* durch Versetzung* bzw. Scherung ändert.
M. können durch Temperaturbehandlungen ausgelöst werden und haben Änderungen der Kristalleigenschaften zur Folge. (Die im Experiment sichtbaren Kristalle der entstehenden Phase sind durch eine charakteristische lamellare Form gekennzeichnet.)
Von keramischen Werkstoffen zeigt u. a. ZrO_2 die M. [399, 405]
s. Werkstoffe, umwandlungsverstärkte keramische

Maschenweite, lichte – *der senkrechte Abstand je zweier Ketten- und Schußdrähte bei Siebgeweben.*

$$F_0 = \frac{W_K\, W_S}{t_K\, t_S}\, 100\,\% \text{ (s. Bild)}$$

F_0 offene Siebfläche in %
W_K Maschenweite der Kette
W_S Maschenweite des Schusses
$t_K = W_K + d_K$ Teilung der Kette
$t_S = W_S + d_S$ Teilung des Schusses
d_K Durchmesser der Kettendrähte
d_S Durchmesser des Schusses.



Maschenweite

Maschinenbaukeramik – *s.* Konstruktionskeramik, Schneidkeramik, Klassifikation der Keramik

Masken
1) Schablonen, die an vorgegebenen Stellen durchlässige Felder aufweisen und damit die Herstellung geometrischer Muster auf Substraten*, die Strukturierung integrierter Schaltkreise und selektive Diffusionen ermöglichen.
Nach der Beziehung der M. zur Unterlage werden unterschieden:
- Haftmasken bzw. Kontaktmasken; sie sind mit der Unterlage fest verbunden. Es handelt sich dabei um aufgedampfte Metallfilme oder um die anoxydierte Oberfläche des Substrats (Oxidmasken), welche mittels Elektronenstrahls strukturiert werden bzw. nach Aufbringen eines Fotolackes durch Belichtung, Entwicklung und Ätzen die erforderlichen Durchbrüche erhalten. Haftmasken werden insbesondere für hochgenaue (<1 µm) Strukturen herangezogen.
- Wechselmasken bzw. Folienmasken; sie sind meist mit der Unterlage nicht dauerhaft verbunden und dienen zum Aufdrucken, Aufdampfen* oder Aufstäuben (Sputtern*) von gewünschten Strukturen. Wechselmasken bestehen meist aus Metall. Die Aussparungen werden fotolithographisch ausgeätzt, mittels Elektronen- oder Laserstrahlen ausgebrannt und elektroerosiv gewonnen.

2) Bezeichnung für den Firnisüberzug bei den Farben der Schiebebilder u. ä.; die M. soll den Bildzusammenhalt später beim Abziehen gewährleisten.
s. Siebdruck

Masse, keramische – *ein laut Vorschrift (Versatz) zusammengestelltes und durch geeignete Mahl- und Mischaggregate erzeugtes Gemisch von Rohstoffen und Zusätzen, wie Wasser, Dispergierungsmitteln, Mineralisatoren.* u. a.*
Zur Erzielung eines homogenen Erzeugnisses muß eine k. M. für alle Formgebungsverfahren einen homogenen Aufbau besitzen. Diese Forderung – von *Haase* als Homogenitätsprinzip definiert – umfaßt die chemische und mineralogische Zusammensetzung, die Korngrößenverteilung und Packungsdichte, die makrotexturfreie Anordnung der Teilchen, die Verteilung der Luft und den Wassergehalt.
Entsprechend dem Wasseranteil werden k. M. unterteilt in
- Gießmassen mit 25 bis 35 % H_2O,
- Eindrehmassen mit 18 bis 24 % H_2O,

- Abdrehmassen mit 17 bis 20 % H_2O,
- Naßpreßmassen mit 12 bis 16 % H_2O,
- Trockenpreßmasssen mit 0 bis 5 % H_2O.

[14, 39, 162]

Masseschlagen – *eine der einfachsten und ältesten Arten der Homogenisierung einer keramischen Masse.* Auf einer stabilen Unterlage wird ein mehrere Kilo schwerer Massebatzen immer wieder aufgeschlagen und dabei zu einem flachen Körper deformiert, anschließend mit Hilfe eines Drahtes horizontal halbiert. Die obere Hälfte wird abgehoben, gedreht und auf die andere Hälfte aufgeschlagen. Dann wird wieder der gesamte Batzen angehoben usw. Nach etwa einer halben Stunde Bearbeitungszeit erreicht man so eine weiche, homogene und ziemlich luftfreie Masse.

Masseschlagmaschine – *eine Vorrichtung zum maschinellen Durchkneten der keramischen Masse,* die auf einen runden Tisch gegeben, von umlaufenden zylindrischen Walzen seitlich und von umlaufenden konischen Walzen von oben her zusammengedrückt wird. Dabei bildet sich ein Massering, der ständig und abwechselnd diesen Druckrichtungen ausgesetzt ist (es kommt zu einer Scherung der Masse). Die M. wurde in den letzten Jahrzehnten durch die Vakuumstrangpresse ersetzt.

Masseversatz (praktische Vorschrift) – *Rezeptur einer keramischen Masse mit der mengenmäßigen Aufstellung aller Komponenten, die in die Masse einzuführen sind.* Die Angaben erfolgen in Masse-%. Der M. umfaßt die Summe von

- Mühlenversatz, d. h. der unbildsamen Masseanteile, die in Mühlen erst einem Mahlprozeß unterworfen werden, und
- Schlämmversatz, d. h. der bildsamen Masseanteile, die in Rührwerken dispergiert* werden.

Der M. wird mit Hilfe der sog. Masseberechnung* aus der theoretischen Vorschrift* berechnet.

[11, 162, 164]

Masseversatzberechnung – *Berechnung des Versatzes entsprechend der theoretischen Vorschrift und den zur Verfügung stehenden Rohstoffen.*

1. Beispiel

Die theoretische Vorschrift eines Porzellans lautet:

45 Masse-% Tonsubstanz (TS)
29 Masse-% Quarz (Q)
26 Masse-% Feldspat (F).

An Rohstoffen stehen zur Verfügung:

- Kaolin/Ton-Gemisch mit 81,3 Masse-% TS, 16,57 Masse-% Q und 2,14 Masse-% F,
- Feldspatsand mit 11 Masse-% TS, 60 Masse-% Q und 29 Masse-% F,
- Feldspat mit 8 Masse-% TS, 31 Masse-% Q und 61 Masse-% F.

Für die Lösung mit Determinanten lautet der Ansatz:

	K/T-Gemisch	Sand	Feldspat	theor. Vorschrift
TS	$81{,}3x$	$+11y$	$+8z$	$=45$
Q	$16{,}57x$	$+60y$	$+31z$	$=29$
F	$2{,}14x$	$+29y$	$+61z$	$=26$

Die Lösung ergibt:
49,75 Masse-% K/T-Gemisch
17,86 Masse-% Sand
32,38 Masse-% Feldspat.

Beispiele für grafische Lösungen in [10, 111, 162].

2. Beispiel

Eine piezoelektrische Keramik lautet:
$Pb_{0,95}Sr_{0,05}(Zr_{0,53}Ti_{0,47})O_3$ + 1 Masse-% Nb_2O_5.

Die für die Komponenten verwendeten Rohstoffe haben folgenden Gehalt G (Reinheit):
99 % PbO, 99 % $SrCO_3$, 99,5 % ZrO_2, 99,3 % TiO_2, 99,9 % Nb_2O_5.

Die Masseprozente der Komponenten der Grundzusammensetzung ergeben sich aus den Molekularmassen unter Berücksichtigung von Korrekturen (s. Tabelle S. 292).

Die Molekularmasse des Zusatzes von 1 Masse-% Nb_2O_5 zu $\sum x\,M = 322{,}27$ beträgt bei 99 % Reinheit $z = 3{,}222\,7{:}0{,}999 = 3{,}226$. Die Gesamtmolekularmasse ist dann $y + z = 325{,}08 + 3{,}23 = 328{,}31$. Die prozentualen Masseteile der Komponenten am Gesamtversatz sind dann: 65,23 % PbO, 2,27 % $SrCO_3$, 19,99 % ZrO_2, 11,52 % TiO_2, 0,98 % Nb_2O_5 = 99,99 %. Da in den verwendeten Rohstoffen noch Feuchtigkeit enthalten sein kann, sind ggf. weitere Korrekturen anzubringen. [239]

Matrix (lat.: matrix = Mutterboden, Ursprung, Stammbaum) – *Grundphase, in die eine oder mehrere andere Phasen* eingebettet sind.* Sie kann glasig oder kristallin sein. So sind z. B. im Porzellanscherben in die glasige Matrixphase die Kristallphasen Mullit, Restquarz, evtl. Cristobalit und Poren eingebettet. [94]

Berechnung des Masseversatzes

Komponente	Molverhältnis x	Molekularmasse M	$x\,M$	$y = \frac{x\,M}{G}$	$W = \frac{x\,M/G}{\sum x\,M/G}$
PbO	0,95	223,19	212,03	214,17	65,88
$SrCO_3$	0,05	147,63	7,38	7,46	2,29
ZrO_2	0,53	123,22	65,31	65,63	20,19
TiO_2	0,47	79,90	37,55	37,82	11,63
Gehalt G			$\sum$ 322,27	325,08	99,99

Matrize – *bei Preßwerkzeugen der Teil (Unterwerkzeug), der das Preßgranulat aufnimmt und insbesondere die äußere Form des Preßlings bestimmt.* Das dazugehörige Gegenstück wird Oberwerkzeug, Oberstempel oder auch Patrize genannt. In der Regel werden die M. aus besonders verschleißfesten Stählen hergestellt.
s. Pressen, Pressen, isostatisches

Mattglasur – *eine Glasur mit matter Oberfläche, die durch Entglasen entsteht.* Man erhält eine M. bei einem nicht genügend hohen Glattbrand oder indem man den Gehalt an Al_2O_3, CaO, ZnO, MgO oder TiO_2 bei Erniedrigung des SiO_2-Gehaltes erhöht. Das Säure-Basen-Verhältnis wird in das Gebiet von 1:1 bis 1,25 verschoben. Beispiel einer Zusammensetzung:

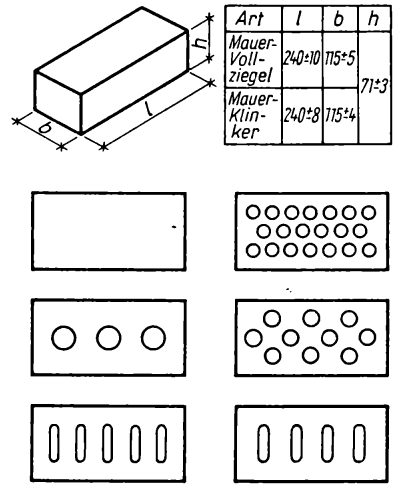
$$\left.\begin{matrix}0{,}72\ CaO\\ 0{,}28\ K_2O\end{matrix}\right\}\cdot 0{,}65\ Al_2O_3\cdot 2{,}6\ SiO_2\,.$$

Seidenmatte Glasuren beschränken sich hauptsächlich auf die Farben grün, gelb und grau. Matte Stellen in einer normalen Glasur stellen einen Glasurfehler dar (Kristallausscheidung, schwefelhaltige Ofenatmosphäre, zu niedrige Ausbrandtemperatur u. ä.).

Mattgold – *ein Edelmetallpräparat mit matter Oberfläche* (trockenes Goldpulver unter Zusatz von Terpentin und einigen Tropfen Lavendelöl, mit Bismutoxidhydrat als Fluß). Matt erscheint auch Glanzgold auf unglasierter Scherbenoberfläche.

Mattstempelpaste – *ein Präparat, das schwach auf die glattgebrannte Glasuroberfläche gestempelt und nach 24stündiger Trocknung mit Glanzgold übermalt wird.* Das aufgestempelte Muster erscheint mattgolden innerhalb der Glanzgoldfläche.
s. Ätzgoldimitation

Mauervollziegel – Sie werden nur im Normalformat (NF) hergestellt und können einen Lochanteil von 15 % (neuere Entwicklungen bis 25 %) der Lagerfläche und des Volumens aufweisen (s. Bild).

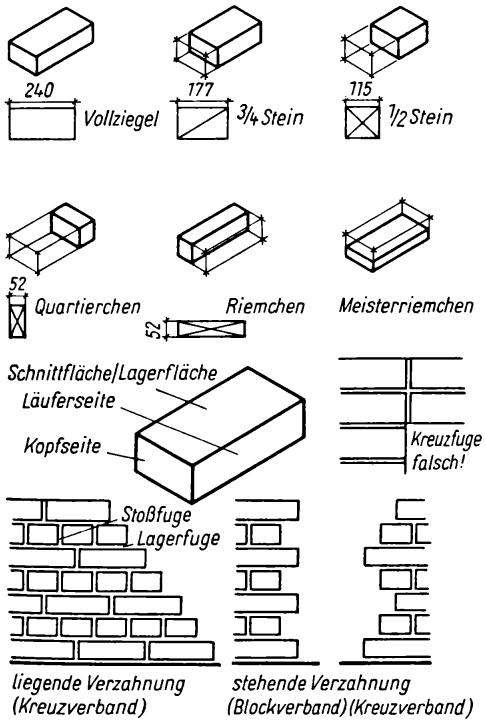


Mauervollziegel, Abmessungen, Toleranzen, mögliche Lochanordnungen

Die Rohdichte beträgt 1,4 bis 1,8 kg dm^{-3}, die Masse etwa 2,7 bis 3,5 kg/Stück, die Druckfestigkeit >10 MPa, der Wärmeleitwert 0,63 bis 0,81 W(m K)$^{-1}$. M. sind im allg. nicht frostbeständig und für Schornsteine nicht geeignet.
Frostbeständig und für Schornsteine geeignet sind dagegen Klinkermauerziegel* oder Hartbrandziegel. Letztere werden nur in 1,6 NF (240 × 115 × 113 mm) hergestellt, ihre Rohdichte liegt bei 1,6 kg dm^{-3} und die Masse bei etwa 5 kg/Stück. [157, 427]

Mauerziegel (Backsteine) – *nach grobkeramischer Technologie aus Lehm*, Letten*, Löß* oder Ton gefertigte und bei etwa 1000 °C gebrannte Steine*

(Klinker* werden höher gebrannt) *mit porösem Scherben von hellgelber bis rotbrauner Brennfarbe*.*
M. werden im Normalformat (NF: 240 × 115 × 71 mm) oder als Vielfaches des NF als Großformat hergestellt (z. B. 5 NF = 240 × 140 × 290 mm) und mit Mörtel im sog. Mauerwerk »vermauert«. Siehe dazu Bild Ziegelformate und Mauerwerksbezeichnung.



Ziegel- und Mauerwerksbezeichnungen

Allgemein werden bei M. unterschieden: Mauervollziegel*, Klinkermauerziegel*, Lochziegel* und farbig glasierte M.
Die verwendeten Rohstoffe enthalten oft beträchtliche Anteile an Kalk*, Alkalien*, Glimmer*, Eisenverbindungen* (Pyrit, Limonit), die letztlich als starkes Flußmittel* wirken und sowohl die niedrige Brenntemperatur als auch die Brennfarbe bedingen. M. werden in Ring*-, Zickzack*- oder Tunnelöfen* gebrannt. Wie die meisten Ziegeleierzeugnisse sind sie mit den Problemen Ausblühungen*, mangelnde Frostbeständigkeit* und Kalktreiben* behaftet. Letzteres wird durch Feinmahlen des Kalkes <1 mm in Walzwerken zu umgehen versucht; trotzdem sollte der CaO-Gehalt der Rohstoffe möglichst unter 10 % liegen. Die Eigenschaften der M. sind insbesondere abhängig von den verwendeten Rohstoffen, der Brenntemperatur und der angestrebten Porosität; letztere beträgt etwa 20 bis 30 %, kann aber durch ausbrennbare Zusätze wesentlich erhöht werden.
Je nach Qualität der M. und Mörtelgruppe sind im Mauerwerk Druckspannungen von 2,5 bis 50 MPa zulässig. [110, 157]

Mauken (Faulen, Rotten) – *das Einlagern aufbereiteter keramischer Massen in feuchtwarmen (etwa 20 °C) Mauk- oder Massekellern zwecks Erhöhung der Bildsamkeit.* Das Material wird von drei Tagen bis zu mehreren Wochen und Monaten abgedeckt und feuchtgehalten. Die Agglomerate des Tones werden so vollständig aufgeschlossen und völlig mit Feuchtigkeit umhüllt. Organische Substanzen (Pflanzenreste usw.) gehen in Gärung und Fäulnis über, dabei finden chemische Umsetzungen statt. Mikroorganismen spielen bei dem Gesamtprozeß auch eine Rolle. Das M. wird heute relativ selten angewendet.

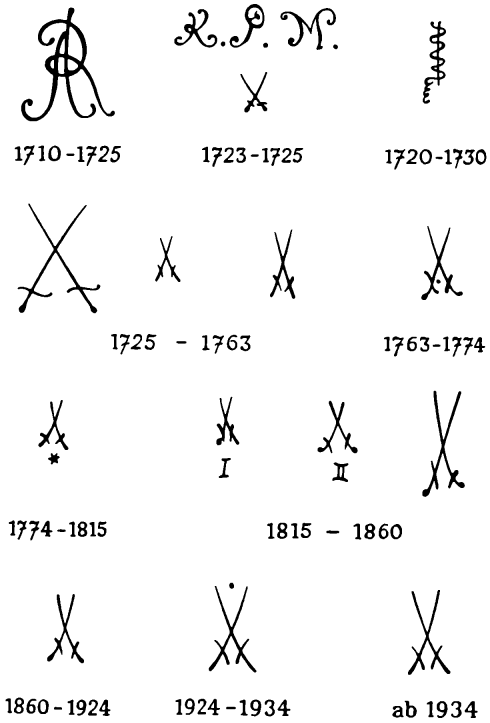
Maukmischer – *ein langsam sich drehender Sammelteller unter Kollergängen o. ä.* Dicht über dem Teller befindet sich eine langsam laufende Transportschnecke, die den Teller radial nach der Mitte zum Austrag entleert. Der M. stellt eine Art Zwischenspeicher dar. Ein Mauken findet jedoch nicht statt.

Meilerofen (Feldofen) – *ein heute selten verwendeter periodisch arbeitender Ofen für das Brennen von Ziegeln.* Die getrockneten Ziegel werden zu einem langgestreckten Stapel geschichtet und nach außen mit Lehm abgedichtet. Im unteren Teil verlaufen Schürkanäle, nach oben werden Abzugsschächte freigelassen. Zwischen die Ziegel wird Steinkohlengrus gestreut. In den Kanälen brennt ein Holz- oder Kohlefeuer, bis die zwischengestreute Kohle in Glut gerät. Der gesamte Ziegelblock brennt von innen her aus. Der Ausschuß ist sehr hoch. Verschiedentlich erfahren M. eine Art Modernisierung (USA, Holland), indem mit vorbereiteten Bodenkanälen gearbeitet und mit Erdgas beheizt wird.

Meissener Kachel – eine aus Ton unter Verwendung von Magerungsmitteln (Rohschamotte, Kachelbruch; unter 3 mm Korngröße) hergestellte, durch Behautmasse oder Engobe veredelte Kachel mit meist farbiger, durchsichtiger Glasur.

Meissener Porzellanmanufaktur (VEB Staatliche Porzellan-Manufaktur Meissen) – *erste Porzellan-Manufaktur Europas,* die nach Erfindung des rotbraunen »Jaspisporzellans« (1708) – seit dem 20. Jahrhundert als »Böttger-Steinzeug« bezeichnet – und des europäischen Hartporzellans (1709) 1710 gegründet wurde. Erfinder und erster Administrator war *Johann Friedrich Böttger.*
Dem bekannten Verhältnis des Hartporzellans entsprechend setzt sich die Masse des Meissener Porzellans aus etwa 68 % Kaolin und 32 % Flußmittel, Quarz und Feldspat zusammen, die bei etwa 900 °C verglüht wird. Die Temperatur des Glattbrandes liegt bei 1 450 °C; die Masseschwindung beträgt 16 %. Die mit Aufglasurmalerei versehenen Erzeugnisse durchlaufen den Muffelbrand bei etwa 900 °C. Die Farben werden nach alten, überlieferten Originalrezepten aus Metalloxiden im eigenen Farblabor hergestellt.
Obwohl die manufakturtypischen Arbeiten, die das Besondere des Meissener Porzellans ausmachen (z. B. die Malerei, die Bossiererei*, das Glasieren der Artikel), in traditioneller Handarbeit ausgeführt werden, erfolgt die Fertigungstechnologie überall dort, wo neue Verfahrensweisen höchste Ansprüche am modellgerecht wiederholbaren Erzeugnis erfüllen, wie auch der Brennprozeß nach neuesten technischen und wissenschaftlichen Erkenntnissen.
Überzeugende künstlerische und technische Leistungen, hinter denen Persönlichkeiten standen und stehen, die sich und das Meissener Porzellan weit über die Ländergrenzen bekannt gemacht haben, ließen die M. P. in einer mehr als 275jährigen Tradition von der Mutter der Porzellanherstellung auch zu einer führenden Kraft der europäischen Porzellankunst werden.
Johann Gregorius Höroldt (tätig in der M. P. von 1720 bis 1765), der Erfinder der Meissener Schmelzfarben, begründete zugleich den Stil der bis heute gepflegten Handmalerei.
Johann Joachim Kaendler (tätig in der M. P. von 1731 bis 1775) beherrschte nach kurzer Zeit den bis dahin in Europa völlig unbekannten Werkstoff virtuos. Seine Service und Figuren sind bis heute beispielhaft zu nennen und zählen zu den Pretiosen vieler Museen und Sammlungen. Seine Popularität verdankt Meißen vor allem den Arbeiten dieser Zeit, die es nach wie vor in hervorragender Qualität zu produzieren in der Lage ist.
In den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts vollzogen sich in der M. P. künstlerische und technische Veränderungen. Versuche auf den Gebieten der Scharffeuerdekoration, der Massemalerei (pate-sur-pate*) und der Verwendung von Lösungsfarben förderten eine Abkehr vom sog. Meissener Stil – dem Rokoko.
Die 20er Jahre unseres Jahrhunderts wurden unter der Leitung des Direktors *Max Adolf Pfeiffer* (von 1924 bis 1934 sog. »Pfeiffer-Punkt« zwischen den gekreuzten Schwertern im Markenzeichen) zu einem der glanzvollsten Kapitel der Betriebsgeschichte der M. P. In dieser Zeit wurden namhafte Künstler, wie *Paul Scheurich, Max Esser* und *Emil Paul Börner* u. a., welche zu den besten Porzellanmodelleuren zählen, an die Manufaktur berufen.
Die Betriebsanlagen der M. P. blieben im 2. Weltkrieg erhalten. 1949 wurde der Betrieb in Volkseigentum überführt.
Von einem künstlerischen Neubeginn kann ab 1960 gesprochen werden. Als Beispiele stehen hierfür die bis heute entstandenen Neuentwicklungen wie das Serviceensemble »Großer Ausschnitt« von *Ludwig Zepner* mit den Dekoren »1001 Nacht«, »Blütenreigen«, »Jagd«, »Waldlaub«, »Blaue bunte Blume« und »Mandelbäumchen in Sepia« von Prof. *Heinz Werner*, die sich ausdrucksvoll an die weltbekannten Dekorationen des Meissener Porzellans, wie das »Weinlaubdekor«, das »Streublümchenmuster«, der »Rote Drache« und das wohl bekannteste, das »Zwiebelmuster«, welches bereits 1739 debütierte, anreihen. Daneben entstanden eindrucksvolle Plastiken von *Peter Strang*. Ein völlig neues Genre erschloß sich für das Meissener Porzellan in der künstlerischen Wandgestaltung.
In den letzten Jahren widmet man sich in den Meißener Ateliers auch zunehmend der Schaffung von Unikaten, die unverkennbar die subjektive Handschrift des Künstlers tragen und unwiederholbar bleiben. Somit wird die M. P. ihrer Tradition gerecht, indem neben Erhalt und Pflege der meissentypischen Formen und Dekore neue Wege beschritten werden (*s.* Markenzeichen der M. P.). [551]

Membranpumpe (lat.: membrana = dünne Haut) – *indirekt wirkende Kolbenpumpe, bei der die zu fördernde Flüssigkeit durch eine Membrane von der Pumpenflüssigkeit getrennt ist.* Mit Hilfe eines Kol-



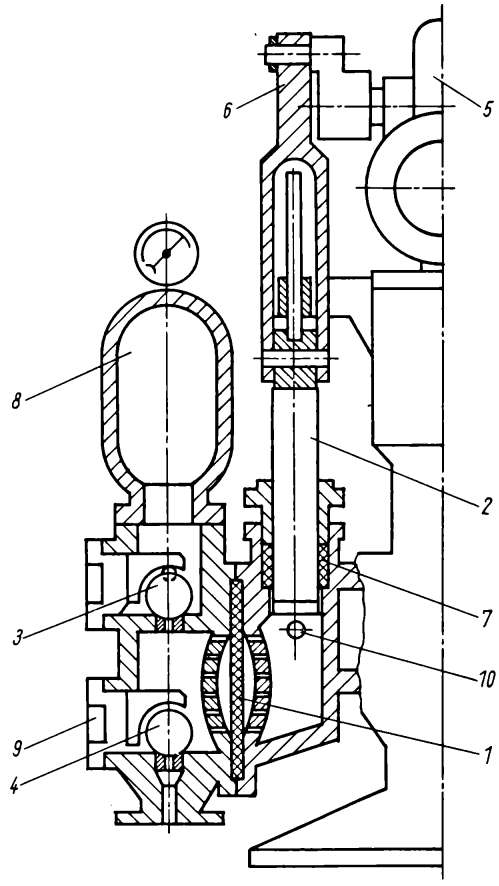
Markenzeichen des VEB Staatliche Porzellan-Manufaktur Meißen seit 1710

benhubs wird eine Saug- und Druckwirkung erzeugt und so die Flüssigkeit (Suspension, Glasurschlicker) mit bis zu 1,5 MPa (Ü) transportiert. Die Sogwirkung des Kolbens bewirkt das Anheben des Kugelventils der Ansaugleitung, geht der Kolben nach unten, wird die Flüssigkeit in die Druckleitung befördert. Somit können die M. auch als Preßpumpen bei Filterpressen eingesetzt werden, wobei mit zunehmender Dicke des Filterkuchens der Gegendruck steigt. Ein Druckregler dient als Sicherheitsventil, um den Druck zu begrenzen. Der Windkessel über dem Druckventil gleicht auftretende Stöße in der Druckleitung aus (s. Bild).

Mennige (Pb_3O_4) – *ein Bleiorthoplumbat* (Pb_2PbO_4); rotes Pulver; tetragonal; $D = 8{,}8$ bis $9{,}2\ g\,cm^{-3}$. Daneben gibt es noch ein instabiles schwarzes Pulver, das bei 390 °C monotrop in die stabile Form übergeht. M. geht bei 550 °C in PbO über. M. ist ein Rohstoff für niedrigschmelzende Fritteglasuren.

Mergel – *ein Sammelbegriff für verschiedene Mischungen aus Ton und Kalk* (selten Dolomit). Mergeltone haben infolge ihres hohen Kalkgehaltes eine geringe Feuer- und Standfestigkeit. Sie sind nur bis etwa 1 050 °C verwendbar (evtl. für Ofenkacheln und feine Töpferware).

Merwinit ($MgCa_3[SiO_4]_2$)
Kristallographie: monoklin
Physikalische Eigenschaften: $D = 3{,}15\ g\,cm^{-3}$; $H = 6$; $T_s = 1\,577$ °C; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}708$, $n_\beta = 1{,}711$, $n_\gamma = 1{,}718$, $\Delta n = +0{,}010$; $2V = 70°$
Auftreten: in MgO-haltigen feuerfesten Steinen.



Membranpumpe K/PuMD7 des VEB Thuringia Sonneberg im Schnitt

1 Gummimembran
2 Kolben
3 und *4* Kugelventile
5 Getriebe
6 Schubstange
7 Dichtung
8 Windkessel
9 Ventilgehäusedeckel
10 Druckregler

Metahalloysit (griech.: meta = danach) – *Zustand des Halloysits* nach Erwärmung >50°C.* Bei dieser Temperatur gibt Halloysit irreversibel zwei locker angelagerte Wassermoleküle ab. [17]

Metakaolin – *Zustand des Kaolinits zwischen 500 und 800°C.* Nach dem Austritt des Konstitutionswassers zwischen 500 und 600 °C ist zwar noch eine geringe Gitterordnung vorhanden, sie wird aber mit steigender Temperatur geringer, was u. a. durch ein linienarmes Röntgenfeinstrukturdiagramm ausgewiesen wird. Bemerkenswert ist die erhöhte Löslichkeit des Al_2O_3 in verdünnter HCl, während SiO_2 nicht oder kaum in Lösung geht. Die Löslichkeit des Al_2O_3 des 3 h bei 700 °C geglühten Kaolins wird in der sog. rationellen Analyse zur Bestimmung der Tonsubstanz* herangezogen.

Metallisierung

1) Beschichten von Keramik mit Metallen

Unter technologischen und funktionellen Gesichtspunkten lassen sich die gebräuchlichen M. differenzieren in:

- hartlötbare M. zur Herstellung vakuumdichter Metall-Keramik-Verbunde mit hoher Temperaturresistenz,
- weichlötbare M. auf der Basis modifizierter Silberverbindungen oder Pt-Au-Glasfritten,
- M. der Dickschichttechnik (Aufbringen von Metallisierungspasten* mittels Siebdrucks u. a.),
- M. der Dünnschichttechnik (Abscheiden dünner Metallschichten auf Substrate* mittels Vakuumtechnologie, wie Bedampfen*, Sputtern*).

Die M. von Keramik ist ein vielschichtiges Problem; es müssen beachtet werden:

- Kompatibilität (Verträglichkeit von Metall-Keramik),
- angepaßtes Ausdehnungsverhalten,
- ausreichende Haftfestigkeit,
- Vakuumdichtheit,
- Benetzbarkeit beim Lötprozeß,
- Möglichkeit der Galvanisierung

(*s.* Aktivlot, Molybdän-Mangan-M.).

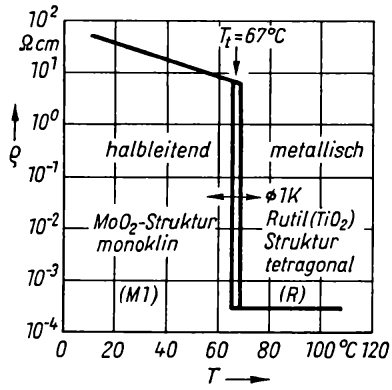
2) Glasurfehler bei Braunglasuren

Die dem Auge gleichmäßig braun erscheinende Oberfläche ist ganz oder teilweise mit metallisch glänzenden grauschwarzen Ausscheidungen überzogen. *Ulbricht* deutet diese Kristalle als eisenoxidreiche Mischspinelle. Um den Fehler zu vermeiden, wird zu kurzzeitigem, möglichst wenig reduzierendem Scharffeuer, zu schneller Kühlung und zu eisenoxidarmen Farbkörpern geraten. [123, 232]

Metallisierungspasten – *organische Lyosole in einer für den jeweiligen Auftragungsprozeß auf Keramik geeigneten Konsistenz, in denen pulverisierte Metalle/Metalloxide und Flußmittel in kolloider Größenordnung dispergiert sind.*

Zusammensetzung, Körnungseigenschaften und Bindemittel sind speziell zugeschnitten auf die jeweilige Keramik, den Auftragungsmechanismus sowie die gewünschten Schichteigenschaften (Widerstands-, Kondensator-, magnetische, halbleitende und isolierende Schichten). Aufbereitet werden die Schichten im allg. in Trommelmühlen. Das Aufbringen erfolgt durch Siebdruck*, Tampondruck, Spritzen oder mit Pinsel, die endgültige Fixierung durch einen nachfolgenden Brand. [123]

Metall-Isolator-Übergang – *Erscheinung bei einer Anzahl keramischer Sinterprodukte, durch thermisch induzierten Wechsel der Modifikation* von einer halbleitenden Phase in eine metallisch leitende Phase überzugehen.* Dieser Übergang bedingt eine Abnahme des elektrischen Widerstandes um mehrere Zehnerpotenzen. Diese Eigenschaft ist außer bei NiS, FeS und V_2O_5 besonders bei VO_2 ausgeprägt (s. Bild).



Metall-Isolator-Übergang des VO_2

Während sich die elektrische Leitfähigkeit des polykristallinen VO_2 annähernd isotrop verhält, weisen Einkristalle eine schmale Hystereseschleife* auf. Ein wesentlicher Vorteil des VO_2 ist noch, daß es sich als kompakter Körper und als Pulver darstellen läßt; letzteres kann dann als Wirksubstanz in Schalt-, Thermistor- und Varistorpasten der

Dickschichttechnik weiterverarbeitet werden. [434]

Metallkeramik – *s.* Pulvermetallurgie

Metall-Keramik-Komposite, dentale (lat.: componere = Zusammenführen, dens = Zahn) – *durch Verschmelzen herausgebildete Email-Überzüge* auf einem Gerüstmetall,* die in dieser Kombination außer gewebefreundlichen Eigenschaften genügend mechanische Festigkeit aufweisen und auch ästhetischen Ansprüchen genügen.

Die metallische Komponente besteht aus bioinerten Legierungen. Die Emailkomponente wird durch Schmelzen verschiedener Alkali-Alumosilicate gewonnen und ist teils glasig, teils semikristallin erstarrt; sie wird schließlich mit verschiedenen färbenden Oxiden bzw. Trübungsmitteln* versehen und in mehreren Schichten auf das Gerüstmetall aufgeschmolzen. [435]

Metall-Keramik-Verbund – *Konstruktionen für mechanisches, thermisches und vakuumdichtes Zusammenführen zweier von Natur aus verschiedener Stoffe,* Metalle und nichtmetallische Keramik. M.-K.-V. können mit Lot und lotfrei ausgeführt werden; allgemein lassen sie sich einteilen in Verbindungen

- mit chemischen Reaktionen; der Zusammenhalt wird hier zurückgeführt auf die Bildung neuer Phasen, wie Spinelle*, Suboxide* u. a.,
- ohne sichtbare Reaktionen; der Zusammenhalt wird danach durch Sauerstoffbrücken, Adsorption* von Metalldampf und Bildung einer sehr dünnen flüssigkeitsartigen Reaktionsschicht besorgt.

Die wichtigsten Parameter zur Beurteilung einer M.-K.-V. sind Haftung und Benetzung. Die Haftung ist verantwortlich für die Festigkeit des Systems; die Benetzung ist der entscheidende Faktor bei der nassen Sinterung*.

Nach [436] besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Haftung und Benetzung. Beispiele für M.-K.-V. sind Dioden und Thyristorgehäuse, Hochfrequenzleistungsröhren und integrierte Schaltkreise.

s. Metallisierung, Kompositwerkstoffe.

Metapapier – *ein einfaches geleimtes Papier, das spiegelbildlich mit der Druckvorlage bedruckt und mit Überzugslack versehen wird* (*s.* Abziehbild). Beim Wässern löst sich die Filmschicht des Lackes und kann auf die Oberfläche des Gegenstandes übertragen werden. M. eignet sich im allg. nur zum Übertragen auf ebene oder schwach gewölbte Flächen, da diese Papiersorte nur wenig biegsam ist. Durch einen speziellen Lacküberzug kann es für gewölbte Flächen geeignet gemacht werden.

Methylenchlorid (Dichlormethan, CH_2Cl_2) – eine farblose, leicht flüchtige Flüssigkeit; $D = 1{,}326$; löslich in Alkohol und Ether; Verwendung als Lösungsmittel für Fette, Öle, Alkaloide, Wachse u. a., bei Spritzfarben als Verdünnungsmittel (verdunstet schnell).

Mettlacher Platten – aus weißbrennenden ff. Tonen mit feldspat- und quarzreichen Zusätzen im Trockenpreßverfahren hergestellte gesinterte Platten (Klinker bis Steinzeug) in verschiedenen Farben (Mosaikplatten).

Verwendung: vor allem als Fußbodenplatten.

Migration (lat.: migrare = wegschaffen) – *gerichtete Bewegung von Teilchen molekularer oder kolloider Größe,* die im Gegensatz zur Diffusion* unter dem Einfluß äußerer Kräfte (z. B. eines elektrischen Feldes) eintritt.

Mikroelektronik (griech.: mikros = klein) – *Teilgebiet der Elektronik,* das durch innige, d. h. nichtzerstörungslos trennbare, Verbindungen einer Großzahl von miniaturisierten Funktionselementen mit Abmessungen im Mikrometerbereich zu einer funktionellen Schaltungseinheit – der integrierten Schaltung – charakterisiert ist.

Durch eine zunehmende Steigerung des Integrationsgrades wächst die Zuverlässigkeit der Schaltungen, da die Anzahl der relativ unzuverlässigen äußeren Verbindungen geringer wird; außerdem sinken die Kosten einzelner Funktionselemente auf vernachlässigbar geringe Beträge (z. B. 0,1 Pfennig je Funktionselement). [410]

Mikroklin ($K\,AlSi_3O_8$) – *Vertreter der Orthoklase;* triklin; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}519$, $n_\gamma = 1{,}525$, $\Delta n = -0{,}006$; $2\,V = 100°$. Eine grüne Abart ist als Amazonenstein bekannt.

s. Feldspat

Mikrorisse (griech.: mikros = klein) – *durch Gefügespannungen, die die örtliche Trennfestigkeit* des keramischen Scherbens* überschreiten, ausgelöste innere und äußere Fehler mit Kerbwirkungen.* Sie setzen allgemein die Festigkeiten (mechanische, chemische, elektrische) keramischer Werkstoffe herab.

M. können folgende Ursachen haben:

- Bei nichtangepaßten Aufheiz- und Abkühlge-

schwindigkeiten treten Spannungen im keramischen Körper auf, die einmal im Temperaturgradienten des Werkstückes und zum anderen in den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der den Scherben aufbauenden verschiedenen Phasen ($\Delta\alpha$ der Phasen) begründet sind.
- Thermisch bedingte Wechsel der Modifikationen* kristalliner Phasen, die sich besonders bei größeren Kristallen ungünstig auswirken (z. B. Cristobalit-Effekt), »lockern« das Gefüge.
- Nichtthermisch induzierte Umwandlungen* kristalliner Phasen bewirken ebenfalls M.

M. können z. B. durch die Schallemissionsanalyse* erfaßt werden. [94, 411, 412]

Mikroskopie – *s.* Lichtmikroskopie, Elektronenmikroskopie

Mikrosphären (griech.: mikros = klein, sphaira = Ball) – *Hohlkugeln, die bei der Verbrennung von Kohlenstaub in der Flugasche enthalten sind und sich als Wärmedämmstoff auszeichnen.*

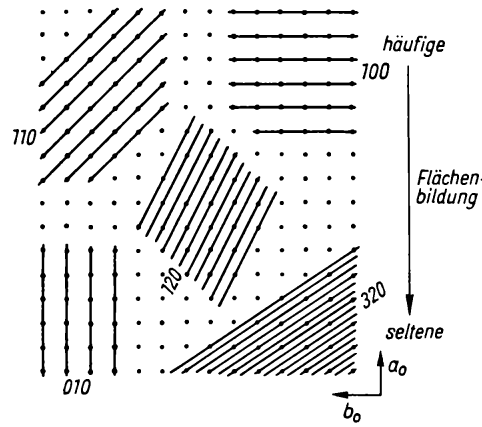
M. bilden sich in den geschmolzenen Bezirken der Flugasche zu dem Zeitpunkt, da die unverbrannten Reste der Flugasche mit Eisenoxiden und anderem reagieren. Dabei bläst das entstehende CO_2 kleine Hohlkügelchen auf. Die Wände der Hohlkugeln stellen eine amorph erstarrte Schmelze dar.

Die Schüttdichte der M. liegt bei etwa 440 kg m^{-3}. [420]

***Millersche* Indizes** – *reziproke, ganzzahlige Werte der Abschnitte einer Kristallfläche im kristallographischen Achsenkreuz**.

Die Achsenabschnitte werden in den drei Richtungen nicht in der gleichen Einheit gemessen, sondern in den jeweiligen Translationsabständen a_0, b_0 und c_0 bzw. in ganzzahligen Vielfachen von diesen (s. Elementarzelle). Dabei kommt es nur auf das Verhältnis der Achsenabschnitte an, da in jedem Kristall eine unendliche Schar identischer Netzebenen vorhanden ist, die parallel verlaufen, was letztlich in der Periodizität des Gitters begründet ist. Betragen z. B. die Abschnitte einer Fläche $2a_0$, $3b_0$ und $4c_0$, so lautet das zugehörige Flächensymbol $h\,k\,l = \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} = 6:4:3$ oder (643). Die Würfelfläche hat das Symbol (100), die Oktaederfläche (111), die Rhombendodekaederfläche (110); entsprechend kann man auch die Achsen bezeichnen, z. B. die a-Achse mit [100], die Gesamtheit einer einfachen Form, z. B. die des Würfels mit {100}.

Aus dem Bild (nach *Rösler*) ist zu ersehen, daß die



Beziehung zwischen der atomaren Besetzungsdichte von verschiedenen Flächenlagen, den *Miller*schen Indizes sowie der Häufigkeit des Auftretens der Flächen. Abnahme der Häufigkeit: (100) bzw. (010) → (110) → (120) → (320)

Netzebenen* und dementsprechend die Flächenlagen durch die Punktlagen (z. B. Atome, Ionen) im Raumgitter festgelegt werden. Daraus resultiert, daß diese deshalb nur ganz bestimmte und auch relativ wenige Möglichkeiten haben, wenn die Punktdichte auf den Netzebenen (und damit die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung dieser Fläche) nicht zu klein werden soll, und daß Flächenlagen mit niedrigen M. I. am häufigsten vorkommen. [8, 64, 84]

Mineral (lat.: minare = Bergbau betreiben) – *stofflich homogene, meist feste und anorganische Körper der natürlichen Materie.*

Stoffliche Homogenität heißt, ein M. besitzt eine bestimmte chemische Zusammensetzung und eine definierte Kristallstruktur (von den natürlich vorkommenden M. ist ein kaum erwähnenswerter Anteil amorph). Einem M. werden meßbare typische chemische, physikalische und morphologische Eigenschaften zugeordnet, die zu seiner Bestimmung und Nutzung dienen. Bedingt durch Mischkristallbildung*, Einbau von Spurenelementen, Fehlordnungen* und mechanische Verunreinigungen weisen viele Eigenschaften eine gewisse, wenn auch meist geringe Schwankungsbreite auf.

Die natürliche Entstehung der M. bezieht sich hauptsächlich auf den irdischen Bereich, d. h. auf die Erdkruste, wird aber auch auf die kosmische Materie ausgedehnt.
Gelegentlich werden in der Literatur die aus technischen Prozessen durch Umwandlung von Mineralen oder Gesteinen entstehenden Produkte, soweit sie auch natürlich vorkommen, als M. bezeichnet, z. B. bei der Verhüttung von Erzen in Schlacken sich bildende Enstatite*, Leuzite*, Wollastonite* u. a. als Schlackenminerale. Für diese Produkte sollte besser der Begriff kristalline Phasen* verwendet werden. [8, 425]

Mineralisatoren – *Zusätze zu keramischen Massen, die kristallisationsfördernd die Sintertemperatur herabsetzen und das Werkstoffgefüge beeinflussen* (s. Tabelle).

Beispiele für die Wirkung von Mineralisatoren im Sinterprozeß (nach *O. Kröckel*)

Sinterungs-beeinflussende Wirkung	Mineralisatoren	
	Beispiele	Masseart
Einleitung der Sinterung bei niedrigen Temperaturen	ZnO, Li_2O	bei Porzellan
	CaF_2	bei Calciumsilicaten
Beschleunigung der Sinterung	AlF_3	bei Mullitbildung aus Kaolinit und Tonerde
	$V_2O_5 + Al_2O_3$	bei SiC
Gefügeausbildung	MgO, Cr_2O_3	zur Kornwachstumsbegrenzung in Al_2O_3
	AlF_3	zur Kristallisation von Nadelmullit
	BaO	zur Enstatitstabilisierung durch Glasphase in Steatit

M. werden in sehr geringen Mengen zugesetzt und sind nicht grundsätzlich für den Werkstoff notwendig; im gebrannten Scherben sind sie analytisch nachweisbar. Ihre Wirkungen beruhen u. a. auf der Erhöhung der Diffusionsgeschwindigkeiten, z. B. durch Minderung der Kation-Kation-Abstoßung, der Bildung von Defektstrukturen. [123, 143]

Mischen – *Einwirken auf ein Mischgut mit dem Ziel einer Gleichverteilung aller das Gemenge aufbauenden Komponenten.* Zur Erreichung dieses Zieles müssen im Mischgut Relativbewegungen der Komponenten ablaufen. Dabei können sich den Mischvorgängen Entmischungsvorgänge überlagern, die auf Dichteunterschiede der Komponenten, Korngrößen- oder Kornformunterschiede oder andere Eigenschaftsdifferenzen zurückzuführen sind. Deshalb stellt sich in einem Mischer nach einer gewissen Zeit ein Gleichgewicht zwischen Misch- und Entmischungsvorgängen ein.
M. wird in der keramischen Industrie durchgeführt, um

- Rohstoffe zu einem Masseversatz* zu vermischen (einschließlich des Zumischens von Dotierungen, Mineralisatoren*),
- eine Vergleichmäßigung einer zu verarbeitenden Menge durch Ausgleich örtlich unterschiedlicher Eigenschaften zu erreichen,
- Stoffe, die für die Verarbeitbarkeit von Massen erforderlich sind, zuzumischen, z. B.
  - Wasser für die Granulierung,
  - Preßhilfsmittel und Gleitmittel für die Formgebung,
  - Hilfsmittel zur Herbeiführung der Bildsamkeit* bei unbildsamen Rohstoffen,
- Suspensionen* bzw. Schlicker* herzustellen, d. h., Feststoffe mit Flüssigkeiten so zu versetzen, daß sie nach Ablauf der Operation fließ- und pumpfähig vorliegen.

[15, 112]

Mischer, pneumatischer (griech.: pneuma = Wind, Atem) – *ein nach dem Prinzip der Wirbelschicht oder der expandierenden Gasstrahlen arbeitendes Mischwerk, das sich besonders für trockenes, gut rieselfähiges Material und für große Durchsätze eignet.*
Das Trägermedium durchströmt den meist waagerechten Boden eines beliebig geformten Behälters und übt dabei auf das Mischgut eine Kraft aus. Ab einer bestimmten Durchströmungsgeschwindigkeit kompensiert das Trägermedium das Gewicht der Schüttung, so daß diese einen flüssigkeitsähnlichen Zustand annimmt. Mit weiterer Steigerung der Durchströmungsgeschwindigkeit werden die Feststoffteilchen beschleunigt, d. h., es tritt turbulente Durchmischung ein. Die Mischer sind so konstruiert, daß während des Prozesses ohne Schwierigkeiten Wirbelgut zugeführt und entnommen werden kann. Bei Gasstrahlmischern tritt das Mischgas unter einem Druck von 1 bis 4 MPa aus Düsen pulsierend in das Mischgut.

Als Vorteil von p. M. ist schnelle Durchmischung und als Nachteil Erosion der Pulver zu nennen. [15]

Mischfällung (Kopräzipitation*) – *naßchemisches Verfahren zur Gewinnung von Pulvern*: amorpher bis feinkristalliner Metallmischverbindungen mit weitgehender Homogenität in der Größenordnung einiger Mikro- bis Nanometer;* mischgefällte Pulver werden durch thermische Behandlung zu Oxiden aufbereitet und können dann direkt weiterverarbeitet werden. Ausgangsstoffe einer M. sind Gemische löslicher Salze (einschl. Dotanden), seltener metallorganischer Verbindungen, der darzustellenden Pulver. Als Fällungsmittel aus Salzlösungen kommen lösliche Hydroxide, Carbonate, Oxalate und Formiate in Betracht, deren Anionen als Fällungsprodukte schwerlösliche Metallverbindungen ergeben, jedoch bei thermischer Behandlung in den gasförmigen Zustand übergehen. Lösungen, die mehrere Metallsalze enthalten, bringen ein fast idealhomogenes Fällungsprodukt, wenn die Salze isomorph sind. Der Dispersitätsgrad der mischgefällten Verbindungen kann bei amorphen Stoffen kaum, bei feinkristallinen Stoffen nahezu erhalten bleiben, wenn die thermische Zersetzung bei genügend tiefen Temperaturen ausgeführt wird. Mischgefällte Pulver zeichnen sich durch hohe spezifische Oberfläche und große Sinteraktivität aus, z. B.:

$$Ba^{2+} + Ti^{4+} + 2\,C_2O_4^{2-} + 5\,H_2O \rightarrow BaTiO(C_2O_4)_2 + 4\,H_2O + 2\,H^+.$$

Die Calcination* dieser M. bei 900 °C führt zu einem stöchiometrischen $BaTiO_3$ hoher Sinteraktivität*.

Die M. wird insbesondere für keramische Werkstoffsysteme, an die höchste technische Anforderungen gestellt werden, wie spezielle Ferrite, Titanate und transparente Keramik, herangezogen. Einer allgemeinen Anwendung der M. steht z. Z. noch der hohe Preis entgegen. [397, 421, 422]

s. Spray-Technik, Gefriertrocknung, Sol-Gel-Technik.

Mischgüte – *Maß für den sich einstellenden Verteilungszustand der ein Mischgut aufbauenden Komponenten, bezogen auf einen bestimmten Mischer*.*

In der Regel stellt sich beim Mischen* eine Verteilung nach stochastischen Gesetzen ein. Zur Charakterisierung der M. wird eine Großzahl von Proben gezogen, von denen die Parameter der Normalverteilung bestimmt werden:

– Mittelwert $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$

– Streuung $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2$ *bzw.*

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - X)^2$$

X Sollwert des Masseanteils einer bestimmten Komponente.

Die so ermittelten Werte stellen ein Homogenitätsmaß für eine Mischung dar.

Allgemein gilt:

- eine Aussage zur M. ist nur mit Angabe der Probemasse m_p definiert, da eine Abhängigkeit $s \sim m_p^{-\frac{1}{2}}$ besteht,
- eine hohe Zerkleinerung, d. h. die Verringerung der Einzelkornmassen der Komponenten, erhöht die M.,
- beim Mischen einer Hauptkomponente mit einer in geringerem Anteil enthaltenen zweiten hängt die M. im wesentlichen vom Zerkleinerungsgrad der Komponente mit dem geringeren Masseanteil ab.

[15, 112, 428 bis 431]

Mischkristallbildung – *Substitution der Komponente A eines Kristalls durch die Komponente B oder umgekehrt (s. Systeme zweiter Ordnung).* Der entstehende Mischkristall ist einphasig. Ausschlaggebend für die Vertretbarkeit oder Diadochie sind die Wirkungsradien der sich ersetzenden Bauteilchen; sie dürfen nicht mehr als 10 bis 15 % voneinander abweichen. Bei Ionen kommt es nicht so sehr auf ihre Wertigkeit an, jedoch muß die Valenzsumme der positiven Ionen mit derjenigen der negativen übereinstimmen.

In der nachfolgenden Zusammenstellung für Silicate (nach *Radczewski*) sind die wichtigsten Ionen nach der Größe ihrer Wirkungsradien geordnet. Die umrandeten Hauptionenreihen können sich ohne Schwierigkeiten auch bei tiefen Temperaturen vertreten und Mischkristalle bilden, während dies bei Ionen aus verschiedenen Reihen nur schwer möglich ist.

Zwischen den Hauptreihen befinden sich noch einige Ionen mit intermediärer Raumbeanspru-

chung. Sie können sowohl in die über als auch in die unter ihnen stehende Reihe eintreten. So kann z.B. Al^{3+} in Silicaten Mg^{2+} und Si^{4+} vertreten usw. Die Angabe der Wirkungsradien erfolgt in nm.

Vom feinbaulichen Standpunkt aus lassen sich folgende Arten von Mischkristallbildung unterscheiden:

1) Mischkristallbildung infolge statistischer Besetzung gleichwertiger Gitterplätze durch verschiedene Atomarten (Ionen):

- Eine Anzahl Bauteilchen im Kristall *A* wird durch die gleiche Menge von Bausteinen des Kristalls *B* ersetzt,
- bei metallischen Mischkristallen beobachtet man sehr häufig bei höheren Temperaturen eine ungeordnete Mischkristallbildung, die bei langsamer Abkühlung in sog. Überstrukturen mit geordneter Atomverteilung übergeht. Jede der Komponenten bildet ein einheitliches Translationsgitter, die ineinander gestellt eine Überstruktur bilden. Solche Mischkristalle werden als intermediäre oder intermetallische Phasen bezeichnet (z.B. Bronzen, Messing- und Platinlegierungen).

2) Mischkristallbildung durch Additionssubstitution; in diesem Falle ist im Mischkristall eine größere Anzahl gleichwertiger Gitterplätze besetzt als in der reinen Phase, z. B. Spinell ($MgAl_2O_4$) und γ-Al_2O_3. Beide Gitter lassen sich als eine kubisch dichteste Sauerstoffpackung auffassen mit unterschiedlicher Kationenbesetzung.

3) Mischkristallbildung durch Subtraktionssubstitution; die Anzahl der besetzten gleichwertigen Gitterplätze ist im Vergleich zur reinen Phase verringert.

4) Mischkristallbildung durch Divisionssubstitution; bestimmte Gitterplätze werden nicht besetzt, dafür suchen die Atome/Ionen ungleichwertige Gitterlücken auf.

5) Mischkristallbildung durch Multiplikationssubstitution; hier haben chemisch gleiche Atome/Ionen eine verschiedene (vielfache) Umgebung in einem ideal gebauten Kristall, dabei können die Koordinationszahlen gleich oder verschieden sein. Bei allen Mischkristallen sind Fehlordnungen im Gitter in dem Sinne vorhanden, daß die Anordnung der Punktbesetzung im Raumgitter von der idealen Anordnung abweicht. [8, 64, 84, 288)

Cs^+	0,165
Rb^+	0,149
K^+	0,133
Ba^{2+}	0,143
Pb^{2+}	0,132
Sr^{2+}	0,127
Na^+	0,098
Ca^{2+}	0,106
Y^{3+}	0,106
U^{4+}	0,105
Th^{4+}	0,110
Ce^{3+}	0,118
Mn^{2+}	0,091
Zr^{4+}	0,087
Li^+	0,078
Mg^{2+}	0,078
Fe^{2+}	0,082
Cr^{3+}	0,064
Fe^{3+}	0,067
Sc^{3+}	0,083
Ti^{4+}	0,064
Sb^{5+}	0,062
Nb^{5+}	0,069
Al^{3+}	0,057
Ge^{4+}	0,044
Be^{2+}	0,034
Si^{4+}	0,039
P^{5+}	0,035
As^{5+}	0,046
S^{6+}	0,034
Cr^{6+}	0,035
Mn^{7+}	0,046
B^{3+}	0,020
C^{4+}	0,02
N^{5+}	0,015
$(OH)^-$	0,133
F^-	0,133
Cl^-	0,181
J^-	0,220
O^{2-}	0,132
S^{2-}	0,174

Mischtechnologie – *Verfahrensweg zur Gewährleistung einer homogenisierten formbaren Arbeitsmasse, wobei man Dosieren als Vorstufe des Mischens zur Sicherung eines vorgegebenen Versatzes einbeziehen kann.*

Die Auswahl eines Mischverfahrens innerhalb der keramischen Technologie [112] richtet sich nach
- der Konsistenz der zu mischenden Stoffe bzw. der anzustrebenden der Endprodukte (Pulvermischung, Mischen pastöser oder bildsam verformbarer Massen, Mischen in flüssiger Phase),
- der Kopplung des Mischens mit anderen verfahrenstechnischen Operationen im Ablauf (Mischen mit Zerkleinerungswirkung, Mischen mit Heizen oder Kühlen),
- der Einordenbarkeit der Operation in die Gesamttechnologie (kontinuierlich, diskontinuierlich, Umlaufmischung),
- der für die spezielle Aufgabe zu erreichenden Mischgüte und der dafür aufzuwendenden spezifischen Arbeit,
- der spezifischen Energieeinleitung in Abhängigkeit von Mischwiderstand der Komponenten und Maschinenparametern.

Zur Ausführung der Mischaufgaben stehen eine Vielzahl von Wirkprinzipien und maschinentechnischen Lösungen zur Auswahl:
- selbsttätiges Mischen durch Eigenbewegung des Gutes,
- erzwungene mechanische Vermischung,
- erzwungene mechanische Vermischung mit Hilfsphasen.

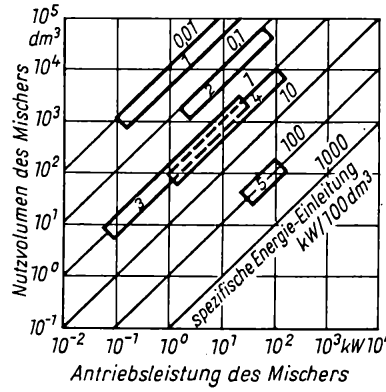
Einige verfahrenstechnische Lösungen (nach *H. Ries*) bietet das nebenstehende Diagramm (oben) an. [15, 112, 119, 120]

s. Pflugscharmischer, Kneter, Kollergang, Chargenmischer, Gegenstrommischer, Trommelmühle, Doppelwellenmischer, Verschlickerung

Mischungslücke – *ein von Temperatur- und Konzentrationskurven umschlossenes Gebiet, besonders in Zweistoffsystemen, in dem stets ein Gleichgewicht zweier koexistenter Phasen vorliegt.* Die koexistenten Phasen sind gesättigte Lösungen der einen Komponente in der anderen. Bei der kritischen Mischungs- und Lösungstemperatur verschwindet die M.

Mixed-layer-Minerale – *s.* Wechsellagerungsminerale

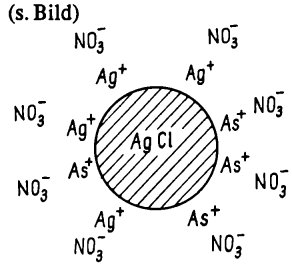
Mizelle (lat.: micella = Krümchen) – *Komplex,*



Spezifische Energieeinleitung verschiedener Mischgeräte
1 pneumatischer Mischer
2 Kegelschneckenmischer
3 Trommelmischer, Chargenmischer
4 Tellermischer
5 Kneter

den ein elektrisch geladenes Kolloidteilchen mit den dazugehörigen »Gegenionen« bildet. Jede M. besteht aus drei Teilen:
- dem eigentlichen Teilchen,
- den an der Oberfläche der Kolloide haftenden Ionen als innere Schicht und
- den dissoziierten Ionen, den »Gegenionen«, als äußere Schicht.

Die Flüssigkeit, in der die M. schwimmen, nennt man auch *Intermizellarflüssigkeit.* Sie kann durch Ultrafiltration von den M. abgetrennt werden. (s. Bild)



Mizelle

Modell

1) Ideelles oder materielles Gebilde, das ausgewählte Eigenschaften eines Originals darstellt und mit dessen Hilfe ein das Original betreffender Prozeß vollzogen werden soll, der auf direktem Wege, d.h. am Original, nicht möglich ist.

2) Muster, Urmodell – zeichnerischer und plastischer Entwurf eines keramischen Gegenstandes. Nach der Zeichnung wird der Gegenstand aus Ton oder Gips modelliert. Nach dem M., das u. U. zerlegt

werden muß, wird die Modellform (Urform) angefertigt. Sie dient meist nur der Gewinnung des Muttermodells und wird deshalb auch als verlorene Form bezeichnet. Über Muttermodell, Mutterform, Arbeitsmodell (die Modelleinrichtung) entsteht die Arbeitsform. Als M. wird die Entstehungsstufe bezeichnet, bei der der Gegenstand positiv erscheint, im Gegensatz zur Form, bei der er als Negativ sichtbar ist.

Modelle, rheologische – *Vorstellungen von idealen Körpern mit definierten rheologischen Eigenschaften,* die sich – in gewissem Grade – ähnlich wie wirkliches Material verhalten und zur Ableitung rheologischer Gleichungen dienen. Man unterscheidet:

1) Einfache Körper typisieren die rheologischen Grundeigenschaften. Dazu zählen:

- *Ideale Elastizität** – hierbei ist eine Verformung vollkommen reversibel. Den Zusammenhang zwischen Verformung und Spannung gibt das *Hooke*sche Gesetz wieder.

$$\sigma = \varepsilon E \quad \text{bzw.} \quad \tau = \gamma G$$

σ Normalspannung
ε Dehnung
E E-Modul,
τ Schubspannung
γ Schubverformung,
G Gleitmodul.

Die ideale Elastizität wird symbolisiert durch eine Feder (H-Modell = *Hooke*scher Körper; s. Bild 1).

- *Ideale Viskosität** – hierbei ist eine Verformung irreversibel. Den Zusammenhang zwischen Deformationsgeschwindigkeit und Spannung beschreibt das *Newton*sche Fließgesetz:

$$\tau = \eta \frac{\mathrm{d}\,V}{\mathrm{d}\,x} = \eta\, D$$

D Geschwindigkeitsgefälle*
η Viskositätskoeffizient.

Die ideale Viskosität wird symbolisiert durch eine Art Stoßdämpfer (N-Modell = *Newton* scher Körper; s. Bild 2).

- *Idealplastischer Körper* – hierbei wird der Körper nach Überschreiten einer bestimmten äußeren Spannung irreversibel durch Fließen* verformt. Zwischen Spannung und Deformation besteht kein einfacher Zusammenhang. Die Höhe der Schubspannung, die die Deformation auslöst, heißt Anlaßwert bzw. Fließspannung τ_a und ist nicht von der Deformationsgeschwindigkeit abhängig. Der idealplastische Körper wird durch einen Gleitklotz symbolisiert und heißt St.-V.-Modell (= *St.-Venant*-Körper; s. Bild 3). Der Gleitklotz gerät erst dann in Bewegung, wenn die horizontalwirkende Kraft die Reibungskraft überwunden hat bzw. die Fließspannung erreicht ist:

$$\tau_a = \frac{F_N\, \mu}{A}$$

τ_a Fließspannung
F_N Gewicht des Körpers
μ Reibungskoeffizient
A Auflagefläche.

2) Zusammengesetzte Körper

Da die realvorkommenden Stoffe mehr oder weniger vom idealen Verhalten abweichen, versucht man, durch Parallel- und/oder Hintereinanderschaltungen von einfachen Körpern dem Realverhalten nahe zu kommen. Von den zahlreichen Zusammenschaltungen sind für die Keramik die interessantesten:

- der *Bingham*-Körper oder bildsam viskoses Modell, s. Bild 4 (Das *Bingham*-Modell symbolisiert in hohem Maße das Verhalten des Systems »Tonminerale*-Wasser*. Es weist einen Anlaßwert aus, ist also bildsam und zeigt mit Einsetzen des Fließvorganges ein von der Schubspannung abhängiges Fließen*, d. h., es ist viskoelastisch.),
- der Mehrfach-*Prandtl*-Körper, s. Bild 5 (Er zeigt eine Anlaßwertaufteilung, was häufig bei grobkeramischen Massen zu beobachten ist.).

[52, 111, 125, 133, 134]

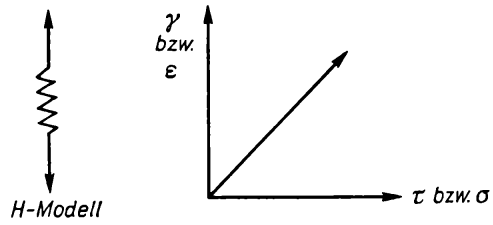


Bild 1. Spannungs-Dehnungs-Diagramm
rheol. Gleichungen
$\sigma = \varepsilon E$
$\tau = \gamma G$

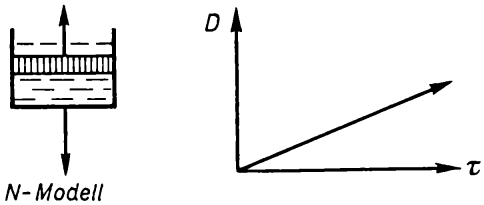


Bild 2. Fließkurve
rheol. Gleichung $\tau = \eta D$

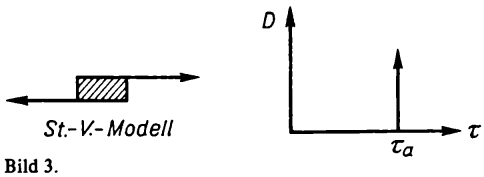


Bild 3.
rheol. Gleichung $\tau = \tau_a$

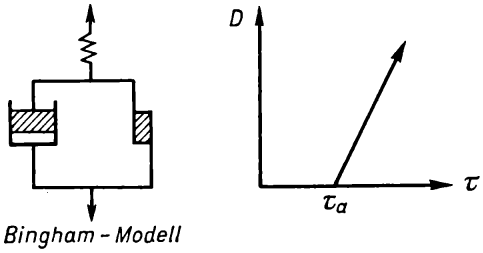


Bild 4.
rheol. Gleichung $\tau = \tau_a + \eta_{Pl} D$
η_{Pl} plastische Viskosität

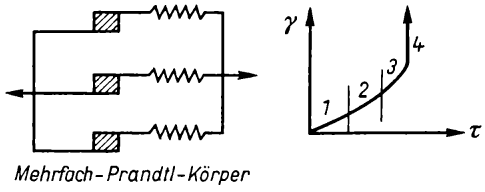
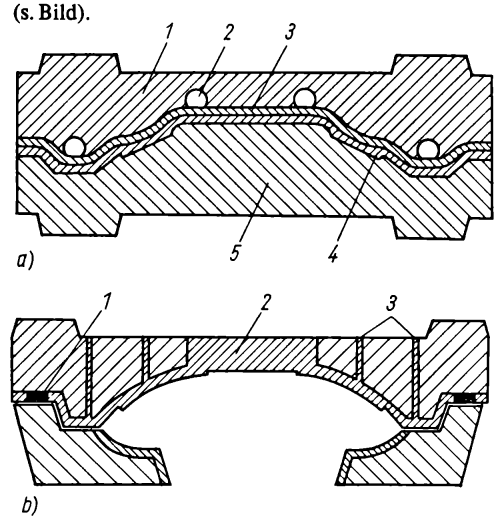


Bild 5. Fließkurve
rheol. Gleichungen
1 $\tau = (G_1 + G_2 + G_3)\gamma$
2 $\tau = \tau_a + (G_2 + G_3)\gamma$
3 $\tau = \tau_{a1} + \tau_{a2} + G_3\gamma$
4 $\tau = \tau_{a1} + \tau_{a2} + \tau_{a3}$

Modelleinrichtung – *Vorrichtung zum Herstellen der Arbeitsformen für den keramischen Formgebungsprozeß.* Die einzelnen Teile der Modellform (Mutterform) werden abgegossen, so daß für jedes Teil die entsprechende Gipsform entsteht, die sich wiederum aus mehreren Teilen zusammensetzen kann. Von dieser entstandenen M. kann der Formengießer beliebig viele Arbeitsformen abgießen. Für die M. werden der leicht retuschierbare Gips, Kunststoffe (Epilox u.a.) oder Kunststoff-Gips-Kombinationen verwendet (s. Bild).



a) Modelleinrichtung aus Epoxidharz
1 Modelleinrichtung
2 Blechschlaufe zur Verankerung mit dem aufgegossenen Gipsteil
3 zweite Epoxidharzschicht
4 erste Epoxidharzschicht
5 Modellform
b) Schaleneinrichtung (Schnittdarstellung)
1 Glas- oder Metallplättchen zur Bestimmung der Harzdicke
2 Einguß
3 Luftkanäle

Modellgröße – die Größe des nach der Werks- bzw. Modellzeichnung hergestellten Gipsmodells unter Berücksichtigung der Schwindung.

Modellieren – *freihändiges Formen von Figuren und Gefäßen* (Klein- und Großplastiken, Vollfiguren und Reliefs). Als Werkstoffe eignen sich dafür in der Keramik Töpfer-, Terrakotta-, Steinzeug-, Schamottemassen und Klinkertone. Der Gegenstand kann voll (massiv) modelliert oder bei Gefäßen auf der Töpferscheibe (Drehscheibe) hochgezogen und entsprechend bearbeitet werden. Figuren können im lederharten Zustand zerschnitten werden. Größere Teile werden oft auf der Rückseite ausgehöhlt, wobei Stege als Versteifung die-

nen. Es ist auch möglich, eine Figur, ein Ornament u. ä. aus einem Block herauszuarbeiten. Das M. erfordert viel Geschick und künstlerische Fähigkeiten.

Modellschmiere – *der isolierende Überzug des Modells zwecks besseren Ablösens der Gipsform.* Die M. besteht aus Ölen und Seifen (Kernseife, Rüböl).

Moderator (Verlangsamer; lat.: moderari = mäßigen) – *ein Stoff, der Neutronen hoher Energie auf geringere Energien abbremst.* M. sind unmittelbar in der Spaltzone eines Reaktors untergebracht.

Die Bremswirkung eines M. beruht auf Stoßprozessen zwischen den Neutronen einerseits und den Atomkernen der Moderatorsubstanz andererseits. Der Prozeß der Neutronenbremsung im M. ist dann beendet, wenn die kinetische Energie der Neutronen vergleichbar mit der Energie der Wärmebewegung der Atomkerne der Moderatorsubstanz geworden ist, d. h., die bei einer Kernspaltung entstehenden schnellen Neutronen mit einer mittleren Energie von 2 MeV werden auf thermische Energien von etwa 0,025 eV abgebremst.

Von keramischen Werkstoffen weisen Graphit ein Bremsverhältnis (d. h. Energie der Neutronen vor und nach dem Stoß) von 165 und BeO von 190 auf. [397]

Modifikationen (lat.: modus = Art und Weise) – *Auftreten eines Kristalls (chemische Verbindung, Element) in verschiedenen Zustandsformen (Phasen*), die sich im Gitteraufbau (Bausteinanordnung) und folglich auch in ihren physikalischen Eigenschaften unterscheiden.* Das Auftreten von chemischen Elementen in verschiedenen Zustandsformen wird gewöhnlich als *Allotropie* bezeichnet.

Da unter einem bestimmten Temperatur-Druck-Regime immer nur die energieärmste Form stabil ist, sind etwa gleichzeitig mit vorliegende M. metastabil. Im allgemeinen sind Modifikationsumwandlungen an einen sehr engen Temperaturbereich gebunden. Sind diese Phasenumwandlungen reversibel, spricht man von *Enantiotropie*, erfolgt jedoch die Umwandlung nur in einer Richtung, dann von *Monotropie*. Die Bezeichnung der M. ist nicht einheitlich; in der deutschen Literatur werden die Formen mit der höchsten Symmetrie als α-Form, die mit geringerer Symmetrie entsprechend als β-, γ-Form bezeichnet (α-Cristobalit: kubisch; β-Cristobalit: tetragonal). In einigen Fällen sind auch Bezeichnungen wie Hoch- und Tiefform üblich, bezogen auf den Temperaturbereich, in dem sie normalerweise existent sind. Gelegentlich haben die verschiedenen Formen auch Eigennamen, wie z. B. TiO_2: Rutil*, Anatas*, Brookit*. [8, 64, 84, 238]

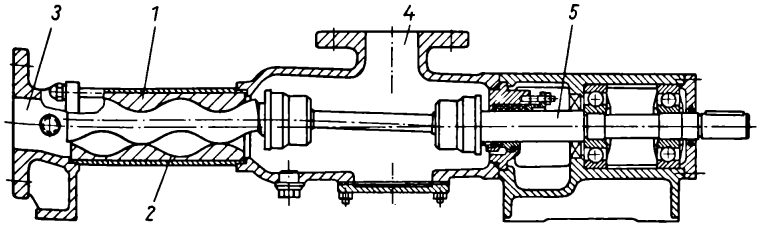
s. Umwandlungen, nichtthermisch induzierte, Martensitumwandlung

Mohnopumpe (Einspindelpumpe) – *eine von Moineau entwickelte rotierende Verdrängerpumpe zur Förderung dickflüssiger und schlammartiger Massen und von Flüssigkeiten, die zum Aufschäumen oder Zersetzen neigen, sowie von zähflüssigen Pasten.*

M. saugen und drücken gleichmäßig und gleichzeitig (s. Bild). Die wichtigsten Bauteile sind der eingängige umlaufende Rotor und der aus einem elastischen oder festen Werkstoff hergestellte zweigängige stillstehende Stator. Der zwischen beiden gebildete, von der sog. *dichtenden Linie* begrenzte Hohlraum wandert während der Drehbewegung gleichmäßig von der Saug- zur Druckseite. Dadurch entsteht ein kontinuierlicher, der Drehzahl proportionaler Förderstrom. Die dichtende Linie trennt während der Drehbewegung den Saug- vom Druckraum. M. haben einen hohen Förderdruck und eignen sich gut zum Dosieren; ihre Förderrichtung ist umkehrbar.

Sie werden vielfältig eingesetzt in der keramischen Industrie als Schlicker- und Glasurpumpen.

***Mohs*sche Härteskala** – *s.* Härte



Mohnopumpe
1 Stator
2 Rotor
3 Ansaugstutzen
4 Druckstutzen
5 Antriebswelle

Molererde – *eine Abart des Kieselgur, die oft vulkanische Asche enthält.* M. wird hauptsächlich zur Herstellung von feuerfesten Dämmsteinen für den Ofenbau verwendet.

Molybdändisilicid ($MoSi_2$)
Kristallographie: tetragonal
Physikalische Eigenschaften: grau; metallisch glänzend; $D = 6{,}12\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2\,030\ °C$ (nur in HF löslich); ϱ (bei 20 °C) $= 2 \cdot 10^{-5}\ \Omega\ cm$;
WAK $\alpha_{25/1\,000} = 8{,}5 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; λ (bei 20 °C) $= 31\ W\ (m\ K)^{-1}$; $E = 380\ GN\ m^{-2}$
1) Bei Verwendung als Schutzschicht zeigt M. ein eigenartiges, stark von Temperatur und Sauerstoffpartialdruck abhängiges Verhalten:
- im Bereich 650 bis 800 °C laufen Reaktionen in der Art von

  $$4\,MoSi_2 + 7\,O_2 \rightarrow 2\,MoO_3 + 4\,SiO_2$$

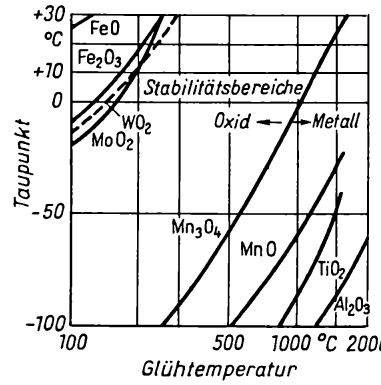
  ab, wobei MoO_3 verdampft,
- oberhalb 800 °C entsteht Mo_5Si_3 und SiO_2; das hierbei entstehende SiO_2 übernimmt eine gewisse Schutzfunktion,
- um 1 000 °C ist M. stabil,
- bei höheren Temperaturen bildet sich weiter SiO_2; infolge Mikrorißbildung kann es zur Zerstörung der Schicht kommen. Die oxydative Zerstörung kann jedoch durch Zugabe von schwerschmelzendem Silicatglas unterbunden werden.

2) M. ist Bestandteil des Kanthal Super, das als Heizelement bis 1 700 °C eingesetzt werden kann, ohne daß sich der elektrische Widerstand nennenswert ändert.
[91, 133, 222]

Molybdän - Mangan - Metallisierungsverfahren – *ein zur Herstellung hartlötfähiger Keramik-Metall-Verbunde häufig angewandtes Metallisierungsverfahren.* Es basiert auf der allgemeinen Reaktionsgleichung:

$$x\,Me + y\,H_2O \rightleftharpoons Me_xO_y + y\,H_2 \quad (Me = \text{Metall}).$$

Unter den Einbrennbedingungen 1 400 bis 1 650 °C und feuchter H_2-Atmosphäre liegt das Gleichgewicht für Molybdän auf der linken Seite der Reaktionsgleichung, so daß dieses als Metall erhalten bleibt, während Mangan durch die Feuchtigkeit der Ofenatmosphäre in Manganoxid überführt wird (s. Bild mit den Stabilitätsbereichen verschiedener Metalle und ihrer Oxide).
Üblicherweise werden der Metallisierungspaste 20 % Mn zugesetzt; es ist in der Hauptsache für



Gleichgewichtslinien Metall-Oxid in feuchtem Wasserstoff nach *Kotonski, Muchawek*

die Haftung zwischen Metallisierungsschicht und Grundkeramik verantwortlich. Die Haftmechanismen sind:
- mechanische Verankerung der Schicht durch Eindringen einer eutektischen Schmelzphase in die Poren des Reaktionspartners,
- Phasenneubildung an der Grenzfläche Metall–Keramik, z. B. Mangansilicat, Manganspinell.

Bei Metallisierung von Al_2O_3-Keramik > 99 % empfiehlt es sich, der Paste SiO_2 zuzusetzen. [123, 451]

Mönch und Nonne – *eine besondere Art der Dacheindeckung;* Dachziegel, die die Form einer in Längsrichtung halbierten konischen Röhre haben. Sie werden so verlegt, daß Rinnen (Nonnenziegel) nebeneinander entstehen und über je zwei Rinnennähte eine Rinne (Mönchziegel) übergestülpt wird. Die Mönchziegel sind schmaler als die Nonnenziegel. Die Pfannen haben heute keinen strengen Halbkreis mehr.

Monochromator (griech.: monos = einzig; chroma = Farbe) – *Vorrichtung zur Auswahl von Teilchen nach ihrer Energie oder von Wellen nach ihrer Frequenz.*
1) Als M. für Teilchenstrahlung dienen meist mechanische Vorrichtungen, z. B. eine auf einer Achse rotierende Cadmiumscheibe, auf der sich um den Winkel φ versetzte Schlitze befinden. Entsprechend der Drehgeschwindigkeit der Scheibe gelangen nur Neutronen einer definierten Energie durch den M.
2) Als M. für Wellen dienen Absorptionsfilter (z. B. lassen Nickelfilter nur die CuK_α-Röntgenlinien durchgehen) oder Vorrichtungen in der Art eines Spektographen. Das vom Eintrittsspalt kom-

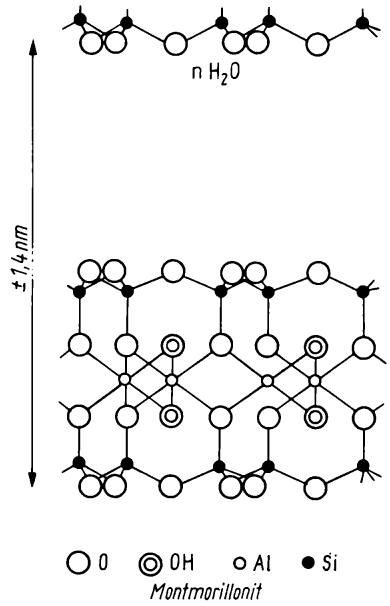
mende Licht wird von einem Spiegel parallel gerichtet auf ein Quarz- oder Steinsalzprisma gelenkt. Durch einen zweiten Spiegel, der sich am Ort des Spektrums befindet und in der Breite verstellbar ist, wird der gewünschte enge Spektralbereich ausgeblendet.
[117, 129]

Monticellit ($MgCaSiO_4$)
Kristallographie: orthorhombisch
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 3{,}2$ g cm^{-3}; $H = 6{,}5$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}639$ bis 1,666, $n_\beta = 1{,}646$ bis 1,677, $n_\gamma = 1{,}653$ *bis 1,682,* $\Delta n = +0{,}014$ bis $+0{,}016$; $2V = 85$ bis 90°
Auftreten: Magnesiaerzeugnisse und basische Konverterschlacken

Montmorillonitgruppe – *Gruppe von Dreischichtsilicaten, bei der durch das Zwischenschichtwasser das Gitter in Richtung der c-Achse erheblich aufgeweitet ist.* Vorkommen, die hauptsächlich aus Vertretern der M. bestehen, werden Bentonite genannt.
1) Montmorillonit

$$\left\{\begin{array}{l} Al_{1,67}Mg_{0,33}[(OH)_2/Si_4O_{10}]^{-0,3} \\ Na_{0,33}(H_2O)_4 \end{array}\right\}$$

Chemische Zusammensetzung: stark vom Wassergehalt abhängig; 48 bis 56 % SiO_2, 11 bis 22 % Al_2O_3, 5 % Fe_2O_3, 4 bis 9 % MgO, 0,8 bis 3,3 % CaO, 12 bis 24 % H_2O, Na_2O, K_2O
Kristallographie: monoklin; Dreischichtpakete mit eingelagertem Kationenwasser (s. Bild); Abhängigkeit der innerkristallinen Quellung von der Größe der Zwischenschichtkationen, deren Ladung und der Ionenbesetzung der Zwischenschichtoberflächen; Kristallgröße <0,1 µm; Austauschkapazität in mval/100 g – Kationen 80 bis 150, Anionen 20 bis 30
Physikalische Eigenschaften: feinstkörnige Komponente bestimmter Tone, schwer bestimmbar; weißgrau-rosa-grün; $D = 1{,}9$ bis 2,3 g cm^{-3}; quellfähig
Diagnose: durch Wasseraufnahme beobachtbare »Fettigkeit«; durch Röntgenanalyse eindeutig bestimmbar
Genese: Verwitterung vulkanischer Aschen und Eruptivgesteine; allgemein verlangt die M.-Bildung alkalische Reaktionen des Bodens.
Keramik: höchste Bildsamkeit*, beim Trocknen zum Reißen neigend, Zusatz für magere Massen zur Verbesserung der Bildsamkeit (hohes Einbindevermögen von Magerungsmitteln*), schlechte



Montmorillonitgitter (nach *Hofmann, Endell* und *Wilm*)

Verflüssigung, stark thixotrop* (Thixotropie wird z. B. bei Erdölbohrungen ausgenutzt; bei Stillstand der Bohrung dickt die Spülung ein und sinkt nicht ab.)
2) Beidellit

$$\left\{\begin{array}{l} Al_2[(OH)_2/Al_{0,5}Si_{3,5}O_{10}]^{-0,5} \\ (Ca, Na)_{0,3}(H_2O)_4 \end{array}\right\}$$

feste Massen mit Wachsglanz; orthorhombisch; gelblich bis rötlich
3) Nontronit

$$\left\{\begin{array}{l} Fe_2^{3+}[(OH)_2Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}]^{-0,33} \\ Na_{0,33}(H_2O)_4 \end{array}\right\}$$

monoklin; chemische Zusammensetzung sehr variabel (bis 14 % Al_2O_3); $H = 2$; $D = 1{,}73$ bis 2,3 g cm^{-3}
Weitere Vertreter der M. (s. Tabelle S. 308) sind Saponit, Hectorit, Saukonit. [8, 9, 46]
s. Schichtsilicate

Morphologie (griech.: morphé = Gestalt) – *Lehre von der Gestalt und Formenbildung.*
In den Werkstoffwissenschaften werden häufig folgende Wortkombinationen gebraucht:
- *amorph* – gestaltlos im Sinne von »ohne Kristallgitter«.
  Amorphe Feststoffe weisen die für Kristalle ty-

Vertreter der Montmorillonitgruppe

Mineral	n_α	n_γ	$n_\gamma - n_\alpha$	Optischer Charakter	2V
Montmorillonit	1,480 bis 1,590	1,515 bis 1,630	0,025 bis	negativ	0...30°
	≈1,49	1,50 bis 1,56	0,040	negativ	7...27°
Beidellit	≈1,49	1,52 bis 1,56		negativ	klein bis 16°
Nontronit	1,565 bis 1,60	1,60 bis 1,64	0,035 bis 0,040	negativ	mittel
	1,56 bis 1,62	1,58 bis 1,66		negativ	20...66°
Saponit	1,48 bis 1,49	1,510 bis 1,525 $n_\beta \approx 1{,}52$	0,030 bis 0,035	negativ	mittel
	1,49	1,527	0,037		
Hectorit	1,485 1,500	1,516 1,520	0,031 0,020	negativ	klein
Saukonit	1,550 bis 1,575	1,592 bis 1,615	0,035 bis 0,042	negativ	klein

(Die Werte sind vom Einbettungsmittel abhängig)

pische Anisotropie von Form und Eigenschaften nicht auf. Die amorphe Stoffe aufbauenden Atome sind weitgehend regellos verteilt, so daß alle ihre Eigenschaften einschl. ihrer Form isotrop, d. h. richtungsunabhängig sind.
Beispiele: Opal (SiO_2-Varietät), Obsidian (natürl. Glas)

- *idiomorph* (griech.: idios = eigenartig) – eigengestaltig.
  Idiomorphe Kristalle bilden wegen ihrer hohen Kristallisationskraft immer ihre eigene spezifische Kristallform und hindern damit andere Lösungsgenossen am Kristallisieren.
- *kollomorph* (griech.: kolla = der Leim) – Kristalle, die sich aus Hydrosolen durch Wasserentzug umgebildet haben und erst im Laufe der Zeit in den kristallinen Zustand übergegangen sind.
  Beispiel: α-Fe_2O_3 (Roter Glaskopf)
- *metamorph* (griech.: meta = danach) – Gestalt bzw. den Zustand ändernd im Sinne, daß bereits gebildete Kristalle unter Einwirkung von Druck und/oder Temperatur umgewandelt werden. Metamorphe Prozesse können sich u. a. in Entwässerung bestehender Kristalle, Kornvergrößerung des Ausgangsmaterials, Neubildung äußern.
- *pseudomorph* (griech.: pseudein = falsch) – in einer anderen Form kristallisierend, als dem chemischen Stoff entsprechend.
  Bei Verwachsungen von Kristallen verschiedener Natur (s. Epitaxie) wird oft die Erscheinung beobachtet, daß die Atomabstände in bestimmten Gitterrichtungen vom aufwachsenden Kristall (Gastgitter) elastisch verzerrt sind, um die Kohärenz der Phasengrenzflächen zum Wirtsgitter zu gewährleisten.
  Gelegentlich werden auch Stoffe durch äußere Einwirkungen (Druck, Temperatur) veranlaßt, eine unter normalen Bedingungen entstehende Struktur zu verlassen und ein für die Anpassung günstigeres Gitter anzunehmen.
- *xenomorph* oder auch *allotriomorph* (griech.: xeno = fremd, allotria = Fremdes) – fremdgestaltig in dem Sinne, daß diese Kristalle wegen ihrer geringen Kristallisationskraft beim Bil-

dungsvorgang den zur Verfügung stehenden Raum ausfüllen und nicht die ihrer Elementarzelle entsprechende äußere Kristallform zeigen.

s. Polymorphie

morphotrop (griech.: morphe = Gestalt, tropein = wenden) – *mit einer Strukturänderung (Geometrieänderung) verbundene Phasenumwandlung,* z.B. der Übergang von tetragonaler in rhomboedrische (trigonale) Symmetrie.

Mörtel – *Gemenge von nichthydraulischen oder hydraulischen Bindemitteln, Zuschlagstoffen und Wasser von steifer bis pumpfähiger Konsistenz,* das zum Vermauern von Ziegeln und Steinen, zum Verputzen von Wänden und Decken oder zum Ausfüllen von Fugen dient. Die Verfestigung erfolgt durch Trocknen, Abbinden und Erhärten, wobei nichthydraulische Bindemittel (z.B. Löschkalk) nur an Luft, hydraulische Bindemittel, wie Zemente, hydraulische Kalke u.a., auch unter Wasser erhärten. Zementmörtel werden insbesondere für stark beanspruchte Baukonstruktionen verwendet. Als Zuschlagstoffe werden meist Sande bis etwa 2 mm Korngröße verwendet. [305]

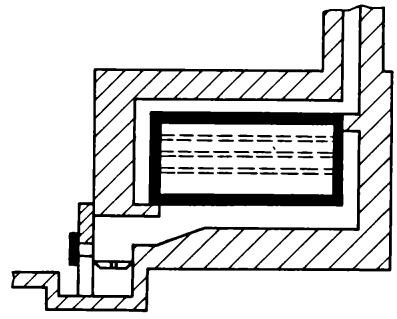
Mörtel, feuerfester – *Verfugungsmaterial für geformte Feuerfesterzeugnisse auf der Basis von keramischen, chemischen und hydraulischen Bindemitteln und Zuschlagstoffen.*

Der Wassergehalt beträgt 10 bis 30%. Als Zuschlagstoffe, die grundsätzlich Korngrößen <1 mm aufweisen müssen, werden Quarzsand, Korund, Chromerz, Schamotte, Zirkon u.a. herangezogen; als keramische Bindemittel werden früh sinternde Tone mit breitem Sinterintervall und geringer Schwindung angestrebt, die bei guter Bildsamkeit und gutem Wasserhaltevermögen die Ausbildung schmaler Fugen erleichtern. Als chemische Bindemittel werden Wasserglas, Phosphorsäure u.a., als hydraulische Bindemittel Tonerdeschmelzzemente verwendet. Sind Hydratationserscheinungen (z.B. bei Sinterdolomit) zu erwarten, so werden Teer, $MgCl_2$ u.a. in Verbindung mit MgO eingesetzt. Um dem Mauerwerk in allen Temperaturbereichen genügend Festigkeit zu verleihen, werden meist Bindemittelkombinationen verwendet. [168, 310]

Mosaikplatte – *dichtgesinterte, gerade, scharfkantige, meist säurefeste Steinzeugplatte,* die vorwiegend für Fußböden und Wände verwendet wird. M. werden gepreßt, getrocknet und zwischen 1150 und 1300 °C gebrannt. Beim Trockenpressen wird zunächst das mit Hilfe von Blechstreifen geformte Muster eingelegt und mit den jeweiligen Farbmassen ausgefüllt. Nach Entfernen der Schablone kommt die Hauptmasse hinzu. Durch das Pressen werden Grundmasse und Farbmuster zu einer einheitlichen Platte vereinigt.

Mosilit – *ein Hochtemperatur-Heizelement aus Molybdänsilicid;* ohne Widerstandsveränderung beim Dauerbetrieb; oxydationsbeständig bis 1700 °C, in elektrisch beheizten Industrie- und Laboröfen bis 1650 °C einsetzbar. M. hat eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber verschiedenen Gasen, Mineralsäuren und Salzschmelzen.

Muffelofen (Muffel) – *periodisch oder kontinuierlich arbeitender Ofen, bei dem das Brenngut durch ff. Trennwände vor der direkten Einwirkung der Flamme geschützt ist.* Die heißen Wände strahlen ihre Wärme in den Brennraum. Je nach Lage unterscheidet man *Seiten- und Deckenmuffeln.* Im Kleinstformat bestehen die M. aus einem Stück, im Großformat sind sie aus ff. Steinmaterial. M. werden in Kleinbetrieben (Kunstkeramik, Majolika, Fayence u.a.), in der Kachelfabrikation, zum Dekorbrand u.a. verwendet. Sie sind nicht einsetzbar, wenn eine reduzierende Atmosphäre erforderlich ist. Wird mit höheren Temperaturen gearbeitet (bis etwa 1300 °C), spricht man von Schärffeuermuffeln. Hier liegen die Feuerungen an den Ofenlängsseiten, die Abgase steigen zwischen den Seitenwänden aufwärts, überschlagen sich über dem Muffelgewölbe und ziehen an den Stirnseiten abwärts. Weitere Konstruktionen unterscheiden sich durch die Muffel- bzw. Abgasführung. (s. Bild)



Schnitt durch einen Muffelofen

Muffenrohrpresse – *eine Maschine zur Erzeugung von Steinzeugrohren mit einseitiger Muffe, die nach dem Prinzip einer Vakuum-Schneckenpresse mit vertikaler Arbeitsweise konstruiert ist.* Zum Tragen der unten austretenden Rohre hat die M. einen heb- und senkbaren Tisch mit Abschneidevorrichtung. Die Arbeitsweise entspricht im Prinzip der Vakuumstrangpresse. Den unteren Abschluß des Preßzylinders bildet ein Mundstück mit kreisförmiger Austrittsöffnung. Um die Muffe zu erzeugen, muß zu Beginn des Pressens ein zweites Mundstück von unten herangeschoben werden. Dieses gibt dem Strang Muffengestalt, senkt sich dann aber mit dem weiter austretenden Strang nach unten.

Mühlen – *Maschinen zum Zerkleinern gröberer Partikeln zu Fein- bis Feinstkorn; in der keramischen Aufbereitung* übernehmen sie noch vielfach die Aufgabe des Mischens der Massekomponenten.* Die zu zerkleinernden Stoffe unterscheiden sich in Aufgabekorngröße und Mahleigenschaften, d. h., sie können spröde bis zäh und fasrig sein. Entsprechend dieser weiten Fächerung kommen die verschiedensten Mühlenkonstruktionen zum Einsatz, die sich in ihren Wirkprinzipien wie Druck, Schlag, Prall, Scherung und Reibung einerseits und in der Beanspruchungsgeschwindigkeit andererseits unterscheiden.

Die nachfolgende Tabelle nach *H. Robel* stellt die in der Keramik üblichen Mühlen und ihre Einsatzbereiche zusammen. [112, 433]

(Trocken- und Naßmahlung s. Ausführung zu Trommelmühle)

Mühlenversatz – *s.* Masseversatz

Mullit – *s.* Aluminiumsilicate

Mullit-Erzeugnisse – *feuerfeste Erzeugnisse mit einem Al_2O_3-Gehalt >50 %,* deren Matrix außer Mullit wenig Glasphase und Korund enthält. M.-E. zeichnen sich durch extreme Korrosionsbeständigkeit gegenüber Normal- und Spezialgläsern sowie eine *DFB* >1 700 °C aus. Sie werden insbesondere im Glasofenbau als Feeder (Speiserbekken, Speiserrohre, Plunger) verwendet. Eine Inbetriebnahme ist ohne Vorwärmung möglich.

Als Rohstoffe kommen außer Mullitschamotte* Edelkorund*, Tonerde* und Kaolin*/Ton*, zur Bindung noch Bauxit*, Cyanit*, Sillimanit*, Diaspor* in Betracht.

Mullitschamotte – *feuerfeste Halbfabrikate, die nach ihrem Phasenbestand einen maximalen Anteil an Mullit* (3,2-Mullit; 2,1-Mullit), teilweise auch Korund und mehr oder weniger Glasphase aufweisen.*

Die Rohstoffbasen von M. sind:

- Mischungen aus Ton*/Kaolin* und Tonerde*,
- feingemahlene Mischungen aus Quarzsand und Korund*,

Einsatzbereiche von Mühlen (nach *H. Robel*)

Feinheitsbereich	Spröde Stoffe						Zähe, faserige Stoffe	
	hart $H_M = 5...10$		mittelhart $H_M = 2...5$		weich $H_M \approx 1$		weich $H_M \approx 1$	
Grobbrechen	1	T	1	T				
Feinbrechen	1,7	T	1,7	T				
Grießmahlen	2,3	T,N	5,7	T	5	T	5	T
			2,3	T,N				
Feinmahlen	8	T	5,8	T	5	T	5	T
	2,3,4	T,N	2,3,4	T,N				
Feinstmahlen	8	T	2,3,4,8	T,N	4	T,N		
	2,3,4	T,N						
Kolloidmahlen	4	T,N	4	T,N	4	T,N		
	3	N	3	N				

H_M Härte nach *Mohs**
T Trockenmahlung
N Naßmahlung
1 Backenbrecher*
2 Walzenmühle*
3 Trommelmühle*
4 Schwingmühle*
5 Hammermühle*
6 Stiftmühle*
7 Prallmühle*
8 Strahlmühle*

– natürliche Aluminiumsilicate*.
Die aufbereiteten Massen werden bei Temperaturen zwischen 1550 und 1750 °C gebrannt. Daneben können M. auch durch einen Schmelzvorgang im elektrischen Lichtbogen gewonnen werden.
M. besitzen einen Al_2O_3-Anteil von etwa 70 %, eine Wasseraufnahme von max. 3 % und eine hohe Volumenkonstanz. Sie werden meist zu Arbeitskörnungen aufbereitet, als Magerungsmittel* Stampfgemengen, Plastics* sowie speziellen Feuerbetonen* zugesetzt, dienen als Rohstoff für die sog. AZS-Erzeugnisse (feuerfeste Baustoffe des Systems Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2) oder werden zu Mullitsteinen verarbeitet. [124, 144, 168, 305]

Multiplex-Keramik – *s.* Werkstoffe, umwandlungsverstärkte

Muskovit (Kaliglimmer, $KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$)
Kristallographie: monoklin (pseudohexagonal); tafelig
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 2{,}78$ bis $2{,}88\ g\ cm^{-3}$; $H = 2$ bis 2,5; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}56 \pm$, $n_\beta = 1{,}59 \pm$, $n_\gamma = 1{,}60 \pm$, $\Delta n = -0{,}04 \pm$; $2V \approx 47°$
M. gehört zu den Dreischichtmineralen und kommt in gewässerter Form als sog. *Hydromuskovit* in vielen Tonen vor.

Mutterform (Hauptform) – *der Abguß vom Muttermodell, vom Originalmodell.* Aus der M. werden die Arbeitsmodelle abgegossen. Manche Preßformen (z. B. in der Klinker- und Schamottefabrikation) sind einem starken Verschleiß ausgesetzt. Die Formen werden deshalb etwas größer angefertigt und mit auswechselbaren Verschleißteilen ausgelegt. Diese größere Form wird auch als M. bezeichnet.

N

Nachschwinden – *zusätzliche Schrumpfung ff. Baustoffe bei Gebrauchstemperatur.* Die Prüfung auf N. erfolgt durch eine Haltezeit von vier Stunden bei Gebrauchstemperatur, dabei sollte die lineare Schwindung 0,5 bis 0,8 % nicht überschreiten.

Nachsetzsteine – *Steine, die bei Hängestützgewölben von SM-Öfen in dafür vorgesehene Furchen eingebaut werden,* um die verschleißenden Teile zu ersetzen. N. erhöhen die Lebensdauer eines Gewölbes beträchtlich.

Nachwachsen – *irreversible Ausdehnung ff. Baustoffe beim Gebrauch.* Die Ursache des N. kann in ungenügendem Brand liegen, z. B. sind die Umwandlungen des Quarzes in Tridymit und Cristobalit bei Silica, halbsauren Schamottesteinen u. a. mit Volumenzunahmen verbunden. N. wird auch bei Werkstoffen auf der Basis von Sillimanit beobachtet. Silica-Koksofensteine dürfen bei einer zweistündigen Haltezeit bei 1450 °C maximal 0,8 % linear nachwachsen.

Nadelmullit – *s.* Aluminiumsilicate

Nadelstichigkeit – *Glasurfehler* in Form winziger Krater in der Glasuroberfläche* mit einem Durchmesser von 150 bis 300 µm und einer Tiefe bis 20 µm.
Im allgemeinen reichen die Krater nicht bis auf den Grund der Glasur; oft befindet sich unter dem Krater, getrennt durch eine dünne Glasurschicht, eine weitere Gasblase. N. wird besonders bei strengflüssigen Glasuren beobachtet, weniger bei leichtflüssigen.
Über die Genese der N. gibt es geteilte Auffassungen:
- unvollständiges Aufplatzen von Gasblasen, die von verschiedenen Reaktionen des gesamten Systems Scherben*/Glasur*/Brennregime herrühren; wegen der hohen Viskosität* des Glasurflusses glättet sich die Oberfläche nicht,
- Aufreißen der Glasur infolge Zusammenziehens der Gasblasen während der Abkühlperiode.

N. hat verschiedene Ursachen, wie Verunreinigung der Rohstoffe (z. B. SiC-Staub löst in Konzentrationen von 0,005 % sicher Nadelstiche aus), unsaubere Glattscherben, Abgabe von Sauerstoff bei der Reduktion des Fe^{3+} zu Fe^{2+} im Scherben, mangelnde Anpassung Glasur/Scherben und Brennregime, Überfeuerung u. a. In [254] sind zahlreiche Regeln zur Vermeidung von N. aufgeführt. Als N. werden auch feinste löchrige Stellen im Buntdruck bezeichnet, die auf Staub zurückzuführen sind. [222, 361, 364, 437]

Nahordnung – *eine bei Flüssigkeiten und einer Anzahl formbeständiger Stoffe (z. B. amorphe Stoffe, Gläser u. a.) anzutreffende Anordnung der atomaren Bausteine,* die charakterisiert ist durch

– eine dichte Packung (im Vergleich zu Gasen),
– ein Ordnungsprinzip, das nur über wenige Teilchenabstände besteht (<3 nm); bei Flüssigkeiten ist dieses Ordnungsprinzip noch räumlich und zeitlich fluktuierend.

N. wird meist als Gegensatz zur Fernordnung der Festkörper*/Kristalle* herausgestellt, bei denen die Bausteinfolge über große Entfernung (>3 nm) eine ausgeprägte symmetrische Anordnung aufweist.

s. Festkörper, ungeordnete.

Naht – nicht verputzte, sichtbare Erhebung an den Formlingen, die von den Verbindungsstellen beschädigter oder verschlissener bzw. schlecht aneinandergefügter Formenteile herrühren.

Nakrit – seltenes Tonmineral der Kaolinitgruppe*, das relativ (bis einige mm) große und gut ausgebildete Kristallindividuen bildet.

Nase

1) Vorsprung am Deckelfalz als Sicherung gegen Herabfallen beim Gießen aus der Kanne,

2) Vorsprung am obersten Ende eines Dachziegels, der sich gegen die Dachlatte legt und den Ziegel am Abgleiten hindert.

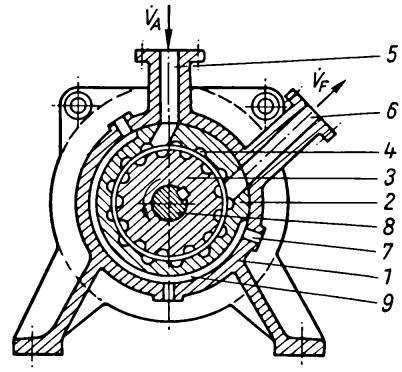
Naßaufbereitung – *s.* Aufbereitung

Naßrotormühle (Kolloidmühle; lat.: rota = Rad) – *System, in dem eine Suspension* mit großem Druck durch einen engen Spalt zwischen einen schnellaufenden Rotor* (bis $v_u = 50\ \mathrm{m\ s^{-1}}$) *und einen ruhenden Stator gepreßt wird.* Die Zerkleinerung erfolgt durch Scherspannung im Mahlspalt zwischen Rotor und Stator; die Breite des Mahlspaltes bestimmt auch die maximale Korngröße des Fertiggutes. Die Arbeitsorgane können als gestuft gezahnte Scheiben bzw. Ringe ausgebildet sein und axial oder radial angeordnet werden (s. Bild).

Die Suspensionsförderung im Bereich der Arbeitsorgane erfolgt entweder durch vorgeschaltete Pumpen oder wird durch die Pumpwirkung der Mühle selbst übernommen.

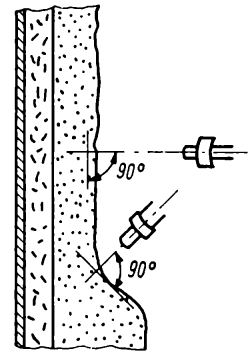
Um Scheibenbrüche zu vermeiden, die bei Trokkenlauf der Mühle infolge Überhitzung eintreten können, ist eine kontinuierliche Mahlgutzufuhr erforderlich; bei Unterbrechung müssen die Scheiben durch geeignete Regeleinrichtungen auseinandergefahren werden.

Die höchsten Mahlfeinheiten ($d_F < 2\ \mu\mathrm{m}$) werden mit sich berührenden Korundscheiben erzielt. [330]



Naßrotormühle
1 Gehäuse
2 Stator
3 Rotor
4 Rotorprofil mit Beanspruchungszone
5 Mahlgutaufgabe
6 Feingutaustrag
7 Anschluß für Kühlflüssigkeit
8 Antriebswelle
9 Kühlraum

Naßtorkretieren (lat.: tectorium concretum = verdickte Tünche) – *Einbringen von Spritzgemengen mörtelartiger Konsistenz mit Hilfe sog. Pumpmischer* an defekte Stellen in Ofenanlagen.* Das Gemenge wird mittels Überdrucks durch Transportschlauch und Lanze (eingeengtes Metallrohr) an die Reparaturstelle gespritzt (s. Bild). Wegen der Gefahr des Abrutschens müssen dickere Reparaturschichten in Etappen aufgetragen und festgebrannt werden. [39]



Richtige Düsenstellung beim Torkretieren

Naßtrommelmühle – *eine meist mit Einzelantrieb versehene, innen ausgemauerte (Granit, Quarzit, Porzellan- oder Steinzeugsteine), zylindrische Stahltrommel.* Die Füllung besteht aus Mahlgut, Mahlkörpern (Flintsteine u. a., rund, zylindrisch u. a.) und Wasser. Das Mahlgut wird zwischen Mahlkör-

pern sowie zwischen Wandung und Mahlkörpern zerrieben bzw. durch die Fallwirkung der Mahlkörper zertrümmert. Der Wasserzusatz verhindert Zusammenballungen und Verklebungen. Das Entleeren erfolgt durch Auslaufenlassen sowie mittels Preßluft. Die Vorteile der N. liegen in der Staubfreiheit, in der guten Reinigung des Inhalts durch Siebe, in der guten Mischbarkeit u. a. Der Verschleiß der Mahlkörper ist aber wesentlich größer als bei der Trockenmahlung.
s. Trommelmühle

Natriumaluminat
1) allgemeine Verbindungen der Formeln $NaAlO_2$, $NaAlO_3$ u. ä.
2) Bezeichnung für β-Al_2O_3
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 3{,}3$ g cm^{-3}; $H = 8$; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}665$ bis 1,680, $n_\varepsilon = 1{,}635$ bis 1,65, $\Delta n = -0{,}030$ bis $-0{,}035$
N. ist wegen seiner guten Spaltbarkeit spröde und leicht zerreißbar und geht bei 1 600 °C unter Abgabe von Alkali in α-Al_2O_3 über.

Natriumcarbonat – *s.* Soda

Natriumfeldspat – *s.* Feldspat

Natriumphosphate
1) N. sind im engeren Sinne Orthophosphate.
- Natriumhydrogenphosphat NaH_2PO_4 dient zur Wasserenthärtung.
- Dinatriumhydrogenphosphat Na_2HPO_4 ist ein Glassurrohstoff.

2) Im weiteren Sinne sind N. Polyphosphate, z. B. Natriumdiphosphat $Na_4P_2O_7$, und bilden wasserklare Kristalle, sind ein ausgezeichnetes Peptisationsmittel und gehen mit den Härtebildnern des Wassers Komplexverbindungen ein, die Ausfällungen entgegenwirken.

Natriumsilicat – *s.* Wasserglas

Neapelgelb – eine Mischung von Bleiantimonaten, z. B. $PbSb_2O_4$ und $Pb_3(SbO_4)_2$, die eine Gelbfärbung ergibt.

Nelkenöl – *ein etherisches, gelbliches bis gelbbraunes, würzig riechendes Öl, das an der Luft nachdunkelt.* Es wird aus den getrockneten Blütenständen, aus Blättern und Stengeln des Gewürznelkenbaumes (Myrtacea) mittels Wasserdampfdestillation gewonnen; $D = 1{,}04$ bis 1,07 g cm^{-3}; Flammpunkt 117 °C. Als Malmittel hält N. schon in sehr geringer Menge die keramische Farbe lange frisch und feucht. Beim Aussprengen hat es die Aufgabe, die getrocknete Farbschicht aufzuweichen und zu lösen.

Neodym (Nd) – *Seltenerdenmetall;* schwach gelblich; tritt in zwei Modifikationen auf (unterhalb 862 °C hexagonal mit einer Dichte von 7,004 g cm^{-3}, oberhalb regulär kristallisierend mit einer Dichte von 6,807 g cm^{-3}).
Neodymverbindungen ergeben in oxydierender Atmosphäre eine rote, Neodymverbindungen mit Cobalt eine tiefblaue Farbe. Neodymphosphat dient als Farbkörper für Rosafarben.

Nephelin-Syenit – *ein Tiefengestein, das keinen freien Quarz enthält;* ungefähre chemische Zusammensetzung: 60 % SiO_2, 25 % Al_2O_3, 10 % Na_2O, 5 % K_2O. Er kann anstelle von Feldspat in Massen und Glasuren eingeführt werden und zeichnet sich durch eine größere Schmelzwirkung aus.

Nesosilicate (griech.: nesos = Insel – *s.* Silicatstruktur

Netzebene (Translationsebene) – *imaginäre Ebene, durch Translation des Anfangspunktes (Atom, Ion) um jeweils den Betrag der Gitterkonstante a_0 in Richtung der a-Achse und um jeweils den Betrag der Gitterkonstante b_0 in Richtung der b-Achse entstanden.* Man erhält so lückenlos aneinanderliegende gleichgroße Parallelogramme, deren Endpunkte als Netzpunkte bezeichnet werden. Die N. ist bei der zweidimensionalen Betrachtung des Kristallgitters von Bedeutung.
*s. Miller*sche Indizes

Netzwerkbildner – *s.* Glas

***Newton*sche Flüssigkeit** – *Flüssigkeit, bei der der Viskositätskoeffizient konstant ist, d. h., mit zunehmender Schubspannung steigt das Geschwindigkeitsgefälle proportional.* Die Forderungen der N. F. werden nur von niedermolekularen Flüssigkeiten erfüllt, z. B. Wasser.
s. Modelle, rheologische

Nichtoxidkeramik – *keramische Erzeugnisse, die aus sauerstofffreien, meist synthetisch gewonnenen Verbindungen nach keramischer Technologie hergestellt werden,* sich z. T. durch extreme Eigenschaften auszeichnen und einen vielseitigen Einsatz in Industrie (Hochtemperaturtechnik, Elektrotechnik, Schleifmittelindustrie u. a.) und Forschung aufweisen.
So besitzen HfC mit 3 890 °C und 4 TaC · HfC mit 3 930 °C die höchsten Schmelzpunkte; ein Teil der nichtoxidkeramischen Werkstoffe erreichen *Mohs*härten >8; aus letzterem Grunde werden sie auch als Hartstoffe bezeichnet.
Die Darstellung der Verbindungen erfolgt meist

durch thermochemische Reaktionen in fester, flüssiger oder gasförmiger Phase. Als Reaktionsprodukte fallen in Abhängigkeit vom Verfahren und den eingesetzten Ausgangsstoffen entweder dichte, grobkristalline oder lose gesinterte, feinkristalline Teilchen an. Zur Weiterverarbeitung sind oft eine mechanische Zerkleinerung und ggf. auch eine Reinigung erforderlich.

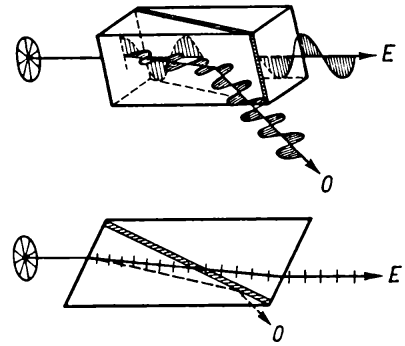
Zu den nichtoxidkeramischen Werkstoffen zählen: Kohlenstoff (Graphit*, Diamant*), Carbide*, Nitride*, Boride*, Silicide*, Fluoride*. [133, 397]

Nickeloxid (Nickel(II)-oxid, NiO; Eigenfarbe graugrün), Nickel(III)-oxid, Ni_2O_3; dunkelgraues Pulver) – Bis zu 3 % Nickeloxid in der Glasur ergeben braune und graue Farbtöne. Sowohl in reduzierender als auch in oxydierender Atmosphäre führt es in Mischung mit anderen Metalloxiden (Fe, Cr, Co, Mn, U, Cu) zu einem schwarzen Farbton. Es dient auch im begrenzten Umfang zur Graufärbung keramischer Mattglasuren und leichtschmelzender Bleiglasuren. In Schmelzflüssen ergeben sich je nach der Zusammensetzung der Glasur gelbe, braune, graue, grüne, violette oder rote Farbtöne. N. verhält sich in Farbkörpern und farbigen Massen indifferent, da es sehr feuerbeständig ist (T_S = 1 960 °C).

Nicolsches Prisma (Nicol) – *Polarisationsprisma zur Erzeugung linear polarisierten Lichts.* Es besteht aus zwei geeignet geschliffenen Teilprismen aus Kalkspat, die mittels Kanadabalsams zusammengekittet sind. Durch diese Maßnahme verläßt die außerordentliche Welle ε in ihrer ursprünglichen Richtung das Prisma, während die ordentliche Welle ω total reflektiert und absorbiert wird. Heute werden meist Polarisationsfilter aus Einkristallen auf der Basis von Perjodid des Chininsulfats (Herapathit), zwischen Glasplatten gefaßt, verwendet. (s. Bild)

Niobate – *Verbindungen des fünfwertigen Niboxids Nb_2O_5 mit Metallen.* Man unterscheidet:
- Orthoniobat $Me_3^{+}NbO_4$,
- Metaniobat $Me^{+}NbO_3$,
- Orthodiniobat $Me_4^{+}Nb_2O_7$.

Die Herstellung erfolgt durch Zusammenschmelzen/Sintern entsprechender Mengen Niob(V)-oxids mit stark basischen Oxiden. Eine Reihe von N. zeigt ferroelektrische Eigenschaften. Praktische Bedeutung haben die Systeme (K, Na)NbO_3 und (Pb, Ba)$(NbO_3)_2$ erlangt. [174]



Lichtdurchgang durch ein *Nicol*sches Prisma (in unterschiedlicher Darstellung) [98]
Zwei Calcitkristalle werden in bestimmter Orientierung aneinander gekittet. Ein in der eingezeichneten Richtung durchtretendes »normales Licht« wird an der Grenze Luft – Calcit in zwei senkrecht aufeinander schwingende Strahlen (n_E und n_0) geteilt, von denen einer (außerordentlicher Strahl E mit n_E) die Kittstelle durchdringt, der andere (ordentlicher Strahl O mit n_0) an der Kittschicht total reflektiert wird. Dadurch kann man linearpolarisiertes Licht erzeugen.

Nippes – *Bezeichnung für etwa von der Mitte des 19. bis in die 30er Jahre des 20. Jh. industriell gefertigte Ziergegenstände für den häuslichen Bereich,* bei denen Funktionen in der Regel eine untergeordnete Rolle spielten. N. wurde aus Porzellan, Ton, aber auch aus Gips u. ä. hergestellt.

Nitride – *Verbindungen des Stickstoffs mit Metallen und einigen Nichtmetallen.*

Als keramische Werkstoffe und keramische Schutzschichten mit z. T. ausgezeichneten technischen Parametern haben insbesondere die Metalle der Gruppen IVa, Va und teilweise VIa des Periodensystems Bedeutung erlangt. Die Nitridierung der Metalle erfolgt meist durch thermochemische Reaktion bei Temperaturen von 1 200 bis 1 400 °C, und zwar:
- Metallpulver wird umspült von N_2 oder NH_3; dieses Verfahren liefert bei reinen Ausgangsmaterialien sehr reine Nitride,
- Glühen von Metalloxiden und Kohle in Gegenwart von N_2 oder NH_3; es ist das billigere Verfahren, liefert aber ein relativ unreines Produkt.

Eigenschaften einiger N.:

- **BN**
  hexagonal; T_S = 3 000 °C; D = 2,25 g cm^{-3};

$WAK\ \alpha_{25/1000} = 3{,}8 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$;
$\lambda_{20\,°C} = 25\ W\ (m\ K)^{-1}$; $\varrho_{20\,°C} = 10^9\ \Omega\ cm$,

- **ZrN**
  kubisch; $T_S = 2\,980\ °C$; $D = 7{,}3\ g\ cm^{-3}$;
  $WAK\ \alpha_{25/1000} = 6{,}5 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$;
  $\varrho_{20\,°C} = 2 \cdot 10^{-5}\ \Omega\ cm$,
- **TiN**
  kubisch, $T_S = 2\,950\ °C$; $D = 5{,}4\ g\ cm^{-3}$;
  $WAK\ \alpha_{25/1000} = 9{,}4 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$;
  $\lambda_{20\,°C} = 30\ W\ (m\ K)^{-1}$; $\varrho_{20\,°C} = 3 \cdot 10^{-5}\ \Omega\ cm$,
- **AlN**
  hexagonal; $T_S = 2\,300\ °C$; $D = 3{,}25\ g\ cm^{-3}$;
  $WAK\ \alpha_{25/1000} = 6 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$;
  $\lambda_{20\,°C} = 10\ W\ (m\ K)^{-1}$; $\varrho_{20\,°C} = 10^5\ \Omega\ cm$.

[133, 397]
s. Siliciumnitrid

Nomenklatursystem der Tone – *s.* Tone, Nomenklatursystem

Normalstein (NF) – *keramisch hergestellte Steine mit genormten Abmessungen.* Man kennt:
- Mauervollziegel*: 240 × 115 × 71 mm.
- Langlochziegel*: 240 × 115 × 71 mm bzw. 290 × 71 × 120 mm,
- Hochlochziegel: Form A 290 × 120 × 190 mm, Form B 290 × 120 × 90 mm, Form C 190 × 120 × 140 mm,
- feuerfeste Steine: 250 × 123 × 65 bzw. als Doppel-NF 250 × 250 × 65 mm.

(TGL 7106 bzw. DIN 1081).

Normminerale (normativer Mineralbestand) – *eine besonders in der Feinkeramik übliche Aufteilung der Rohstoffe und Massen in idealisierte* – weil mit Näherungen behaftet – *Minerale,* wie Feldspat*, Quarz* und Tonsubstanz* als Synonym für Kaolinit* u. a.
s. Analyse, rationelle*, Masseberechnungen

Notenlinien – ein in der Regel einfarbiges Dekor, bei dem 3 bis 5 Linien in gleichen Abständen parallel laufen.

Notfuß – *Bezeichnung für den kleinen Fuß speziell bei Plattenböden (Geschirr), um ein Durchbiegen der Böden im Brand zu verhindern.* Die Glasur würde sonst an der Unterlage festbrennen. Der N. kann direkt aufgegossen oder auch als Steg angarniert werden.

NTC-Keramik – *s.* Heißleiter

***Nusselt*-Zahl** *(Nu)* – *dimensionslose Ähnlichkeitskennzahl, die das Verhältnis der Wärmeübertragung durch Konvektion zur Wärmeübertragung durch Leitung wiedergibt,* d. h.,

$$Nu = \alpha\, l / \lambda$$

α Wärmeübergangskoeffizient* (in $W\ (m^2\ K)^{-1}$)
λ Wärmeleitfähigkeit in $W\ (m\ K)^{-1} = J\ (s.m\ K)^{-1}$
l eine für die Anordnung charakteristische Länge; bei Rohren ist das z. B. der Durchmesser, für Platten die Länge in m.

Nut und Feder – *aufeinander abgestimmte Konstruktionsformen von ff. Steinen als Vertiefung (Nut-) von Vorsprung (Feder), die einen besonders stabilen Mauerverband ergeben.* Bei Tunnelofenwagen gewährleisten N. u. F. eine gute Abdichtung des Brennraumes nach unten zum Begehungskanal.

Nymphenburger Porzellanmanufaktur – eine 1758 gegründete Manufaktur (Versuche liefen seit 1747), die 1761 von Schloß Neudeck in die Nymphenburger Schloßanlage verlegt wurde. Die erste Blütezeit war bis etwa 1764. In dieser Zeit wirkten *F. A. Bustelli* (1723–1763) als Figurengestalter, *Oetter* und *Lindemann* als Maler mit hervorragenden Figurenstaffagen, Blumen und Landschaften. Im 1. Viertel des 19. Jh. entstanden durch *J. P. Melchior* gute Biskuitgruppen, -büsten und Porträtmedaillons.
(Fabrikmarke s. Bild)

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Nymphenburg

O

Oberfläche – *Grenzfläche* eines Festkörpers bzw. einer Flüssigkeit gegenüber einem stoffverdünnten Raum* (Gas, Vakuum). Sie wird aufgrund der Grenzschichteneigenschaften charakterisiert durch Oberflächenenergie bzw. Oberflächenspannung* und – bei Festkörpern manchmal stärker ausgeprägt als bei Flüssigkeiten – durch die Fähigkeit zur Adsorption*, Diffusion, chemischen Reaktion (Festkörperreaktionen*) und Katalyse.

Die O. von Festkörpern weist eine mehr oder weniger deutliche Abweichung der physikalischen Parameter gegenüber dem Körperinneren auf. Diese sog. *Oberflächeneffekte* wirken sich um so stärker aus, je größer die spezifische Oberfläche ist. Unter spezifischer O. versteht man das Verhältnis $O_{spez.} = O/V$, wenn O die Gesamtoberfläche (d. h. äußere Oberfläche + die durch Kapillaren, Sackporen und Poren gebildete innere Oberfläche) und V das Volumen darstellt. Die spezifische O. ist am größten bei feinkörnigem Pulver* und dünnen Schichten.

Die gegenüber dem Körperinneren abweichenden Oberflächeneigenschaften (z. B. Gitterkonstante u. a.) lassen sich als eine Reaktion des Festkörpersystems auf den Abbruch der Gitterperiodizität auffassen. An Kanten, Ecken oder Spitzen liegen naturgemäß Besonderheiten vor, so daß hier physikalisch und chemisch hohe Aktivität gegenüber äußeren Einflüssen zu erwarten ist (sog. aktive Zentren). Die nicht abgesättigte O. der festen Stoffe stellt für Gasatome/Moleküle eine zweidimensionale Schicht von Mulden des chemischen Potentials dar, in der sie adsorbiert oder chemisorbiert werden können.

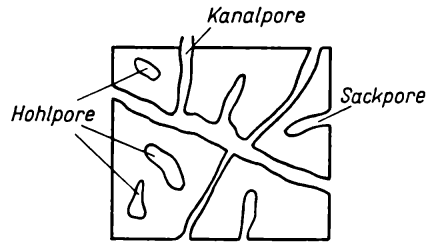
Die wichtigsten Verfahren zur Untersuchung von O. von Festkörpern sind:

- Rasterelektronenmikroskopie: Oberflächentopographie,
- Emissionselektronenmikroskopie: Materialzusammensetzung,
- Elektronenbeugung: Kristallstruktur der O.,
- Feldionenmikroskopie: Chemisorptionsschichten,
- *Auger*-Elektronenmikroskopie: Nachweis von Elementen der ersten Atomlage.

[15, 144, 238]

Oberflächenbestimmung – *Verfahren zur Erfassung der Oberflächen.* Die Gesamtoberfläche eines Körpers setzt sich zusammen aus der äußeren geometrischen Oberfläche und der inneren Oberfläche, die durch die Wände der Kapillaren und der Poren im Inneren des Körpers gebildet wird. Die innere Oberfläche kann bis zum Faktor 10^6 größer sein als die äußere geometrische Oberfläche (s. Bild).

Die verschiedenen Meßmethoden erfassen die Poren in verschiedenem Maße. Adsorptionsmethoden (z. B. BET-Verfahren*) erfassen außer der äußeren Oberfläche nur Kanal- und Sackporen.



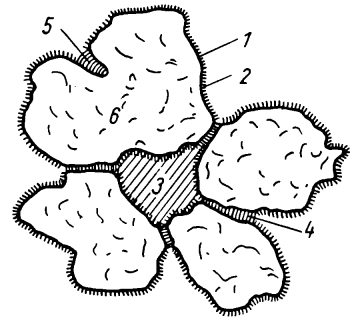
Schnitt durch einen Preßling mit verschiedenen Porentypen

Strömungsmethoden (z. B. *Blaine*-Test*) erfassen nur Kanalporen, weil nur diese einen Beitrag zur stationären Strömung liefern. Hohlporen werden von beiden Methoden nicht gemessen; ihr Volumen kann bei kristallinen Stoffen indirekt über eine Messung der volumetrischen Dichte und der aus Röntgendaten errechneten theoretischen Dichte* bestimmt werden. [445]

s. doppeltlogarithmisches Körnungsgesetz nach *Rosin–Rammler–Sperling* unter Korngrößenverteilung, Areameter

Oberflächenenergie – *s.* Oberflächenspannung

Oberflächenfeuchtigkeit – *Wasseranteile an feinkörnigem Gut, die die Bearbeitbarkeit eines Pulvers in verschiedener Hinsicht (Agglomeratbildung, Gleitvorgänge) beeinflussen.* Nach den Bindungsarten des Wassers an feuchte Körper unterscheidet man (s. Bild):



Wasserbindungsarten in einem feuchten Haufwerk (nach *Kegel* und *Batel*)

1	Adsorptionswasser	*4*	Zwickelkapillarwasser
2	Adhäsionswasser	*5*	Grobkapillarwasser
3	Zwischenraumwasser	*6*	innere Feuchtigkeit

1) Adsorptionswasser, d. h. vom Kraftfeld hydrophiler Feststoffoberflächen relativ fest gebundene Wassermoleküle,

2) Adhäsionswasser, das sich vom Adsorptionswasser durch die größere Entfernung von der Oberfläche und infolgedessen durch geringere Intensität der Bindung unterscheidet,
3) Zwischenraumwasser,
4) Zwickelkapillarwasser, das die Berührungsstellen der Körner ringwulstartig umgibt;
5) Grobkapillarwasser,
6) innere Feuchtigkeit.

Oberflächengüte (Oberflächenqualität) – *Summe der Kenngrößen einer realen Oberfläche.* Die wichtigsten Kenngrößen sind die Oberflächenrauhigkeit* und die Welligkeit*.

Im allg. decken sich die Ansprüche an die Güte meist mit der Forderung nach einer bestimmten Glätte oder deren Kehrwert, einer Rauhtiefe. Es ist Aufgabe der Oberflächenbearbeitung, die verschiedenen Bearbeitungs- bzw. Schleifspuren zu beseitigen und die Form- und Maßgenauigkeit zu erhöhen. Je nach dem angewandten Feinstbearbeitungsverfahren lassen sich mittlere Rauhtiefen bis 0,05 µm und weniger erreichen. Allgemein gilt, je gröber der Schleifkörper ist, um so tiefer sind die Eingriffsspuren. Ausgezeichnete O. läßt sich außer mit keramisch gebundenen Feinschleifkörpern auch mit feinsten Körnungen in Gummi- und Kunstharzbindungen erzielen. Bei letzteren wird oft Graphit als glättender und die Schleifreibung herabsetzender Zusatz beigemischt. Erreichbare Rauhtiefenwerte beim Schleifen (nach *Weingraber*) siehe Tabelle.

Bearbeitungsverfahren		Rauhtiefenbereich in µm
Schleifen		8,0...4,0
Feinschleifen		4,0...1,0
Feinstschleifen		1,0...0,25
Ziehschleifen (Honen*)		
– Vorschliff		1,0...0,63
– Fertigschliff		0,63...0,1
– Polierschliff		0,1...0,04
Feinziehschleifen		0,25...0,05
Läppen		
– Grobläppen	mit	1,6...0,25
– Feinläppen	losem	0,25...0,16
– Feinstläppen	Korn	0,16...0,04

Oberflächenprüfung – *Erfassung und zahlenmäßige Bewertung von Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche von Werkstücken.* Sie kann sich auf die makrogeometrische und mikrogeometrische Gestalt beziehen.

Es ist zu unterscheiden:
- Erfassung von Gestaltabweichungen*,
- Erfassung der Rauhigkeit*,
- Erfassung der Welligkeit*; sie stellt einen Grenzfall zwischen Gestaltabweichung und Rauhigkeit dar.

Oberflächenrauhigkeit – *auf eine kleine Fläche begrenzte, sich durch sich wiederholende Muster äußernde Ungleichmäßigkeit einer realen Oberfläche.* Die wichtigsten Kenngrößen der O. sind:

1) Der arithmetische Mittenrauhwert R_a; er stellt das arithmetische Mittel der Absolutbeträge der Profilabweichung des Istprofils innerhalb der Rauheitsbezugsstrecke dar.

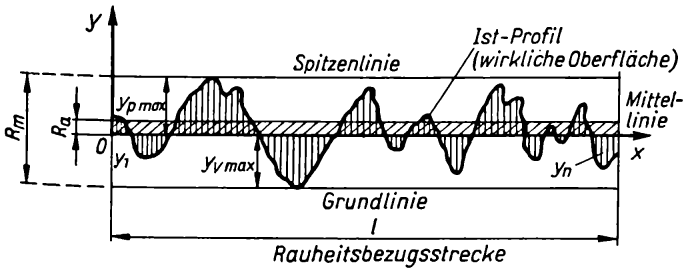
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| \, dx$$

l Rauheitsbezugsstrecke
y Profilabweichung

Die Größe der Rauheitsbezugsstrecke l richtet sich nach dem Mittenrauhwert R_a; für Wertebereiche von $R_a = 0{,}025$ bis $0{,}4$ µm gilt $l = 0{,}25$ mm.

2) Die Rauhtiefe R_m; sie kennzeichnet den Abstand zwischen der Spitzenlinie und der Grundlinie innerhalb der Rauheitsbezugsstrecke.

$$R_m = Y_{p\,max} + Y_{v\,max}$$



Ist-Profil und Rauheitskenngrößen einer technischen Oberfläche

3) Die mittlere Rauheit R_Z (häufig anstelle der Rauhtiefe R_m verwendet):

$$R_Z = \frac{\sum_{i=1}^{5} |Y_{pmi}| + \sum_{i=1}^{5} |Y_{vmi}|}{5}$$

Zur Messung der O. verwendet man heute in der Regel elektronische Tastschnittgeräte. [123]

Oberflächenrauhigkeitsmessung – *Erfassung der mikrogeometrischen Eigenschaften von Formstücken.*

Meßgeräte sind:

1) Profilabtaster

Sie messen entweder mit einer sich kontinuierlich bewegenden Tastspitze oder mit einer sich schrittweise bewegenden Tastnadel. Die Bewegung der Spitze bzw. der Nadel wird vergrößert angezeigt oder registriert. Vertreter sind das Tastschnittgerät* und das Perthometer*.

2) *Forster*sches Rauhigkeitsmeßgerät

Die Tastnadel wird in regelmäßigen Abständen von der Oberfläche abgehoben und nach Verschieben des Prüflings wieder aufgesetzt. Die Tastnadel schwingt durch elektromagnetischen Antrieb mit einer Frequenz von 100 Hz und einem Hub von 1,5 µm.

3) Lichtschnittgerät*

4) Feintaster*.

Oberflächenspannung (Oberflächenenergie) – *die Arbeit, die zur Vergrößerung der Oberfläche um eine Flächeneinheit erforderlich ist* (Maßeinheit $J\,m^{-2}$ bzw. $N\,m^{-1}$).

Die Maßeinheit $N\,m^{-1}$ wird meist bei Flüssigkeiten/Schmelzen angewendet, da sie mehr an eine Spannung erinnert. Häufig anzutreffen ist auch, daß die O. in $mN\,m^{-1}$ bzw. $mJ\,m^{-2}$ angegeben wird; dadurch ist es möglich, die in älteren Arbeiten zu findenden Zahlenwerte unmittelbar zu übernehmen, da $1\,mJ\,m^{-2} = 1\,mN\,m^{-1} = 1\,erg\,cm^{-2} = 1\,dyn\,cm^{-1}$ ist.

Zur Erzeugung von Oberfläche muß Arbeit aufgewendet werden, d. h., Körper mit großer Oberfläche besitzen einen hohen Vorrat an Oberflächenenergie. Ihr Bestreben ist, diese Energie abzugeben und das Volumen mit der kleinsten Oberfläche – Kugelgestalt – anzunehmen. So ist z. B. O. eine der treibenden Kräfte der Sinterung*.

Bei Flüssigkeiten sind O. und freie Oberflächenenergie einheiten- und zahlenmäßig gleich; für ihre experimentelle Bestimmung gibt es eine Anzahl von Verfahren, z. B. Blasendruckmethode, Tropfengewichtsmethode, für Glasschmelzen im Erweichungsbereich: Verlängerung eines Glasfadens im Ofen u. a. Silicatschmelzen weisen bei 900 °C eine O. von etwa $300\,mN\,m^{-1}$ auf, lediglich stark davon abweichend sind Al_2O_3 ($550\,mN\,m^{-1}$ bei 2 150 °C) und B_2O_3 ($80\,mN\,m^{-1}$ bei 900 °C). Außerdem kann man die O. von Silicatschmelzen/Glasuren mit Hilfe von Faktoren additiv nach der chemischen Analyse näherungsweise berechnen, z. B. nach *Dietzel*. Danach gelten für 900 °C folgende Faktoren:

Li_2O = 4,6	PbO = 1,2	ZrO = 4,1
Na_2O = 1,5	ZnO = 4,7	Fe_2O_3 = 4,5
K_2O = 0,1	B_2O_3 = 0,8	CaO = 4,5
MgO = 6,6	Al_2O_3 = 6,2	NiO = 4,5
CaO = 4,8	SiO_2 = 3,4	MnO = 4,5
BaO = 3,7	TiO_2 = 3,0.	

Für höhere Temperaturen müssen je 100 °C Steigerung vom Ergebnis 4 Einheiten abgezogen werden.

Bei Festkörpern sind O. und freie Oberflächenenergie bei Normaltemperatur nicht unbedingt gleich (mangelnde Beweglichkeit der Atome in der neuen Oberfläche), jedoch bei höheren Temperaturen stellen sich, infolge möglicher Beweglichkeit der Oberflächenatome, Gleichgewichte ein, d. h., O. und freie Oberflächenenergie stimmen dann überein.

Die experimentelle Bestimmung der Oberflächenenergie ist schwierig. Methoden dafür sind: Spaltung von Kristallen, Auswertung der *Griffith*schen Gleichung (Bruchmechanik*), Messung der Differenz der Lösungswärmen von feinkristallinen und grobkörnigen Substanzen u. a.

Einige Werte der freien Oberflächenenergie (nach *H. Scholze*, *K. Meyer* u. a.) sind:

MgO	auf Fläche (100)	bei 25 °C	$1\,390\,mJ\,m^{-2}$ ●
$CaCO_3$	auf Fläche	bei 25 °C	$230\,mJ\,m^{-2}$
	$(10\bar{1}1)$	bei 25 °C	$980\,mJ\,m^{-2}$ ●
CaO	auf Fläche (100)	bei	$724\,mJ\,m^{-2}$
Al_2O_3	auf Fläche	1 400 °C	$905\,mJ\,m^{-2}$.
Al_2O_3	(0001)	1 850 °C	
	polykristallin		

● berechnet

[64, 100, 144, 150]

s. Benetzung, Kapillarität

Oberflächenwiderstand
1) O. (Ω) ist der Quotient aus der angelegten Gleichspannung (V) und dem Teil des Stromes (A), der an der Oberfläche des Isolierstoffes fließt. Er wird gemessen zwischen zwei auf einer Seite des Prüfkörpers liegenden Elektroden.
2) Spezifischer O. (Ω) ist der Quotient aus der auftretenden Feldstärke (V cm^{-1}) und dem auf die Elektrodenlänge bezogenen Strom (A cm^{-1}).
Die Prüfkörper dürfen weder im Innern noch an der Oberfläche Fehlstellen aufweisen. Die Bearbeitung und anschließende Säuberung dürfen die Eigenschaften des Prüfkörpers nicht beeinflussen. Für Porzellan wird z. B. ein O. bei 10 mm Elektrodenabstand und 100 mm Elektrodenlänge von 10^9 bis 10^{12} Ω gefordert.

Objektmikrometer – *Vorrichtung zur Ermittlung des Vergrößerungsmaßstabes von Meßmikroskopen.* Das O. besteht aus einer dünnen Glasplatte (Objektträger) für Durchlichtbeleuchtung bzw. aus Metall für Auflichtbeleuchtung, die im mittleren Teil eine Strichteilung aufweist. Gewöhnlich ist die Länge von 1 mm in 100 Striche unterteilt. Der Vergrößerungsmaßstab wird in der Weise festgestellt, daß eine Anzahl Striche der Strichteilung des O. mit dem Meßokular des Mikroskops ausgemessen und daraus der Skalenwert der Teilung des Meßokulars errechnet wird.
s. Okularmikrometer

Oblong (lat.: ob = entgegen, longus = lang) – *bei Geschirrplatten vorkommende spezielle Form,* in der Gestaltung ein Mittelding zwischen Rechteck und Ellipse.

Ofen – *Einrichtung zum Entbinden und Verwerten von Wärme.* Keramische Öfen haben insbesondere die Aufgabe, die geformten und getrockneten Rohlinge zu sintern, d. h., den Gegenständen bzw. Werkstoffen ihre Gebrauchswerteigenschaften zu erteilen. Als Wärmequelle für keramische Öfen kommen feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe in Betracht sowie Elektroenergie. Je nach den Bedingungen, die durch Warengattung, Brennregime oder allgemein durch die Brennökonomie vorgegeben werden, sind die verschiedensten Ofenkonstruktionen im Gebrauch. Eine grobe Einteilung der keramischen Öfen kann danach erfolgen, ob während des Brennprozesses Feuer, Ware oder O. immer an der gleichen Stelle verbleiben oder bewegt werden. Während beim Rund- und Kammerofen Feuer, Ware und O. noch ruhen, wandert bei Ring- und Kammerringöfen das Feuer, und Ware und O. ruhen. Beim Tunnel- und Herdwagenofen wandert die Ware, und Feuer und O. ruhen. Und schließlich wandert beim Hauben- und Pendelofen der O., Feuer und Ware ruhen.

Ofenatmosphäre – *s.* Brennatmosphäre

Ofenraumdruck – *Gasdruck in Industrieöfen.* Während keramische Öfen mit schwachem Unterdruck (wenige mm Wassersäule) gefahren werden, weisen Schmelzöfen einen schwachen Überdruck auf.
Zur Messung des O. bei keramischen Öfen haben sich Schrägrohrmanometer*, Schwimmermanometer und Ringwaagen* bewährt.

Okularmikrometer (lat.: oculi = Augen) – *optisches Instrument zur Längenmessung mit Hilfe des Mikroskopes.* Das O. besteht aus einer kreisrunden Glasplatte mit Intervalleinteilung (z. B. 10 mm in 100 Teile). Man mißt mit dem O. das in der Okularebene entworfene Bild in Skalenteilen. Um zum tatsächlichen Wert zu kommen, müssen die Skalenteile noch mit einem Eichwert multipliziert werden, den man mit Hilfe eines Objektmikrometers feststellt. Das Objektmikrometer hat die Form eines Glasobjektträgers mit einer Intervallteilung von 0,01 mm. Zur Bestimmung des Eichwertes legt man das Objektmikrometer wie ein Präparat auf den Objekttisch und prüft, wie groß ein Skalenteil des O. ist.

Olein $CH_3—(CH_2)_7—CH=CH—(CH_2)_7—COOH$ (technische Ölsäure) – *wichtigste ungesättigte Fettsäure,* farb- und geruchlos, leicht oxydabel, $D = 0{,}89\ g\ cm^{-3}$. Bei längerem Stehen an Luft färbt sich O. gelbbraun und nimmt einen ranzigen Geruch an. Auf Metalloberflächen bildet es festhaftende monomolekulare Schichten, die beim Trockenpressen die Pulver in die Form gleiten lassen. Nach *Haase* ist es zweckmäßig, nur die Formen mit O. zu überstreichen, da es in der Masse selbst nur geringe Gleitwirkung aufweist.

Oligoklas – *s.* Feldspat

Olivin (Peridot, Chrysolith, $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$)
Kristallographie: orthorhombisch; unter dem Mikroskop durch hohe Interferenzfarben leicht erkennbar; Mischkristall von Forsterit und Fayalit
Physikalische Eigenschaften: grünlichgelb bis farblos; $D = 3{,}3$ bis $3{,}5\ g\ cm^{-3}$ (nimmt mit steigendem Fe-Gehalt zu); $H = 6{,}5$ bis 7; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}64$, $n_\beta = 1{,}66$, $n_\gamma = 1{,}68$, $\Delta n = -0{,}04$

Verwendung: Eisenarme O. sind Ausgangsmaterial für Forsteritsteine.
O. kann leicht durch Reaktionen im festen Zustand gewonnen werden.
Bei der Hydratisierung der O. bildet sich unter gleichzeitiger Oxydation des Eisens (Braunfärbung und Bildung von Magnetit) Serpentin*:

$$\underset{\text{Olivin}}{3\,Mg_2[SiO_4]} + 4\,H_2O + SiO_2 \rightarrow \underset{\text{Serpentin}}{2\,Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]}$$

An diesen Prozeß kann sich die Bildung von Talk* und Magnesit* anschließen:

$$\underset{\text{Serpentin}}{2\,Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]} + 3\,CO_2 \rightarrow \underset{\text{Talk}}{Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]} + \underset{\text{Magnesit}}{3\,MgCO_3} + 3\,H_2O.$$

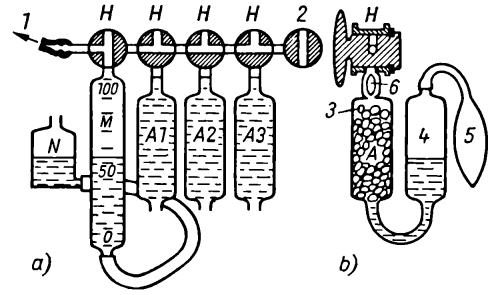
[8]

Opal ($SiO_2 \cdot aq.$; lat.: opalus = Schillerstein bei Plinius) – *festes Hydrogel.*
Physikalische Eigenschaften: farblos, jedoch durch Beimengungen verschiedenartig gefärbt (braun, rot, grün, schwarz); $D = 1{,}9$ bis $2{,}4\,g\,cm^{-3}$; $H = 5{,}5$ bis $6{,}5$; $n = 1{,}40$ bis $1{,}46$
Man unterscheidet:
- Edelopale als Schmucksteine, die sich durch ein charakteristisches Farbspiel, das sog. *Opalisieren*, auszeichnen. In Abhängigkeit von der Blickrichtung zeigen sich sich ändernde Farbflecke, die durch Interferenz-Streuung an winzigen eingelagerten Teilchen entstehen. In der Draufsicht sind sie milchig weiß, in der Durchsicht rötlich bis gelblich.
- Feueropale zeigen eine einheitliche braunrote Färbung.
- Hyalit (Glasopal) bildet sphärolithische Kügelchen bzw. Stalaktiten.

Opazität – ein Maß für die Lichtundurchlässigkeit eines optischen Systems, Kehrwert der Transparenz.

Orthoklas – *s.* Feldspate

Orsat-Apparat – *manuell zu bedienendes Gerät zur chemisch-volumetrischen Analyse von Rauch- und Frischgasen.*
Ein definiertes Volumen des zu analysierenden Rauchgases (meist 100 cm^3) wird mit Hilfe des beweglichen Niveaugefäßes N, das mit angesäuertem Wasser gefüllt ist, in die graduierte Meßbürette M gesaugt. Durch Verstellen der Dreiwegehähne H wird das Gas, beginnend mit A 1, mehrmals in die



Aufbau eines Orsatapparates, schematisch
a) Anordnung der einzelnen Elemente
b) Querschnitt durch eine Absorptionspipette
1 Gummischlauch von der Gasentnahmesonde
2 Absperrhahn
3 Pipettenfüllkörper (Vergrößerung der Absorptionsoberfläche
4 Auffanggefäß
5 Auffangbeutel für verdrängte Luft
6 schwimmender Pipettenverschluß (Kegelschliff)

Absorptionsbürette gedrückt, wobei eine Pipettenfüllung jeweils eine Gaskomponente absorbiert. Nach vollständiger Absorption in einer Pipette wird vor Einleiten des Gases in die nachfolgende Pipette das Restvolumen an der graduierten Bürette zur Bestimmung des Volumenanteils der absorbierten Komponente abgelesen. Gewöhnlich enthält Pipette A 1 Kalilauge zur Absorption von CO_2, Pipette A 2 alkalisches Pyrogallol zur Absorption von O_2 und Pipette A 3 ammoniakalisches $CuCl_2$ zur Absorption von CO.
Enthält ein Gas noch brennbare Komponenten (z. B. H_2), so können diese in weiteren, noch anschließbaren Explosions- oder Verbrennungspipetten nachverbrannt und ebenfalls bestimmt werden.
Obwohl heute zahlreiche automatisch arbeitende Gasanalysengeräte angeboten werden, hat der O.-A. wegen seiner Einfachheit und seiner Möglichkeit, an beliebigen Stellen des Ofens messen zu können, nicht an Bedeutung verloren. Die Meßgenauigkeit beträgt bei sorgfältigem Arbeiten etwa 0,1 Vol.-%, die Dauer einer Abgasanalyse etwa 15 min. [164, 185, 254, 408]

Osmose-Kaolin – *Kaolin, der nach einem elektrophoretischen Verfahren gereinigt wurde.* Er ist weitgehend eisenfrei. Wegen der hohen Stromkosten wird dieses Verfahren nur noch selten angewendet. (Die Bezeichnung O.-K. ist eigentlich

falsch, es müßte richtig heißen: elektrophoretisch gereinigter Kaolin.)
s. Elektrophorese, Rohkaolin

Ostwaldsche Stufenregel – *eine von dem Leipziger Chemiker W. Ostwald gefundene Regel, die besagt, daß bei chemischen und physikalischen Vorgängen ein System vom energiereichsten (instabilen) nicht sofort in den energieärmsten (stabilen) Zustand übergeht, sondern zunächst einen oder mehrere Zustände mit mittlerem Energiegehalt durchläuft.* Die O.S. ist kein Gesetz. Unter bestimmten Bedingungen können auch die Zwischenstufen fehlen.

Oxalate – *Salze der Oxalsäure* $(COOH)_2$. Als zweibasige Säure bildet sie
- neutrale O. der allgemeinen Formel: $Me_2^+C_2O_4$ bzw. $Me^{2+}C_2O_4$,
- saure O. der allgemeinen Formel: $Me^+HC_2O_4$ bzw. $Me^{2+}(HC_2O_4)_2$.

O. sind – außer Alkalioxalaten – in Wasser schwer löslich, jedoch in starken Säuren leicht löslich.
O. bilden vielfach Zwischenstufen bei der Gewinnung hochreiner keramischer Rohstoffe.
s. Mischfällung

Oxidformeln – *Summenformel zur vereinfachenden Wiedergabe von Silicaten bzw. allg. von Mineralen.* Die Formeln, die die Silicatstrukturen wiedergeben, sind z.T. recht unübersichtlich. Wesentlich einfachere Formeln ergeben sich, wenn man die am Aufbau der Silicate beteiligten Elemente in Form ihrer Oxide niederschreibt, z.B. Kalifeldspat $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ (anstelle von $K[AlSi_3O_8]$).

Oxidionenleiter – *Festelektrolyte* mit Fluoritstruktur*, die ein mobiles Sauerstoffgitter und ein quasistationäres Kationenteilgitter besitzen.* Voraussetzungen für eine hohe Sauerstoffionenbeweglichkeit (von einigen Autoren als Selbstdiffusion interpretiert) sind:
- hoher Anteil an ionischer Bindung (z. B. Zr-O etwa 70 %, Th-O etwa 67 %),
- hohe Konzentration von Sauerstoffleerstellen im Gitter,
- Zwischengittersauerstoff als Folge von Dotierungen.

Eine Aufstellung der bekanntesten O. bringt obenstehende Tabelle. [415]
s. Sensoren, keramische

Oxidkeramik – *keramische Werkstoffe aus hochfeuerfesten Oxiden.*
1) Im engeren Sinne werden zur O. nur mineralische Einphasensysteme gezählt. Ausgangsrohstoffe für die Herstellung von O. sind ausschließlich synthetische Rohstoffe, da die chemische und physikalische Beschaffenheit der natürlichen Rohstoffträger deren Einsatz für den keramischen Verarbeitungsprozeß nicht erlaubt. In aufwendigen Aufbereitungs- und chemischen Verfahren werden die hohen Reinheiten erreicht, die den späteren Einsatz erst ermöglichen. Dabei hängen die Eigenschaften der so erhaltenen Rohstoffe wesentlich vom angewandten speziellen chemischen Herstellungsverfahren, von ihrer thermischen Vergangenheit, von der Anwesenheit von Fremdionen und von ihrer Korngröße bzw. spezifischen Oberfläche* ab. Angestrebt wird eine Korngröße $<5\,\mu m$ bzw. eine spezifische Oberfläche $>5\,m^2\,g^{-1}$.
Die völlig unbildsamen Massen werden mit Hilfe organischer Zusätze (PVA, Stearate, Zellin u. a.) in den verformbaren Zustand gebracht. Eine Beigabe von Tonmineralen ist nicht üblich; sie würden die technischen Parameter der Werkstoffe nur ungünstig beeinflussen. Den Massen werden noch Sinterhilfsmittel zur Herabsetzung der Sintertemperatur und zur Erzielung bestimmter Effekte Dotanden (Inhibitoren*, Promotoren* u. a.) zugesetzt. Im Prinzip sind alle keramischen Formgebungsarten möglich; zur Erzielung einer hohen

Oxide mit erhöhter Sauerstoffbeweglichkeit

Basisoxid	Dotand	Struktur	O-Fehlordnung
ThO_2	Ca, Y, La, SE	kfz	V_0
CeO_2	Ca, Y, La, SE	kfz	V_0
ZrO_2	Ca, Y, Mg, Sc, SE	kfz stab.	V_0
HfO_2	Ca, Y, Mg, Sc, SE	kfz stab.	V_0
Bi_2O_3	Y, SE	kfz stab.	V_0
Y_2O_3	Ce, Zr, Th	kfz stab.	O_i
La_2O_3	Ca	hexag.	V_0
$TiAlO_3$	Ca	pseudokub.	V_0
$LaCoO_3$	Sr	pseudokub.	V_0

kfz kubisch flächenzentriert
V_0 Sauerstoffleerstelle
O_i interstitieller Sauerstoff
SE seltene Erden

Grünlingsdichte werden isostatisches Pressen* und zur Erzielung einer hohen Oberflächengüte* Spritzgießen* bevorzugt. Die Sinterung erfolgt bei Temperaturen zwischen 1500 und 1800 °C, die Brennatmosphäre ist Luft, in Einzelfällen auch Vakuum* oder H_2 und Drucksintern*.

Eine Aufstellung der wichtigsten Oxide bringt die Tabelle 1; nicht enthalten ist Siliciumdioxid. SiO_2 wird üblicherweise in die Silicatkeramik* eingeordnet.

Die mit Abstand breiteste Anwendung findet Al_2O_3-Keramik; alle anderen oxidkeramischen Werkstoffe sind speziellen Einsatzfällen vorbehalten (Tabelle 2).

Der Einsatz oxidkeramischer Werkstoffe ergibt sich aus ihren exponierten Eigenschaften (Hochtemperaturresistenz, Verschleißfestigkeit, chemische Resistenz, hohe Wärmeleitfähigkeit, hoher elektrischer Isolationswiderstand, niedrige dielektrische Verluste).

Der erste technische Einsatz von Al_2O_3-Keramik erfolgte in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts und geht auf die Herstellung von Zündkerzen* zurück.

2) Im weiteren Sinne werden zur O. auch einphasige Systeme, die sich aus mehreren Oxiden aufbauen, gezählt, wie z. B. $MgO \cdot Al_2O_3$ (Spinelle*), $MnO \cdot Fe_2O_3$ (Ferrite*), $BaO \cdot TiO_2$ (Titanate*) u. a.

Die Abgrenzung gegenüber den Feuerfestwerkstoffen ist fließend und liegt im wesentlichen im technologischen Bereich sowie in der Anwendungsspezifik. [123]

Oxidkeramik, hochfeste – *s.* Werkstoffe, keramische, umwandlungsverstärkte

Oxydationsbeständigkeit – *Widerstandsverhalten von Stoffen gegen den Angriff von Sauerstoff bei höheren Temperaturen.* Sieht man von den Oxiden ab, werden fast alle Elemente und sehr viele Verbindungen bei höheren Temperaturen von Sauerstoff angegriffen, d. h., sie verzundern. Hat die sich bildende Zunderschicht (Oxidschicht) eine höhere Dichte als die des Ausgangsmaterials, so wird der unter der Schicht befindliche Stoff über weite Temperaturbereiche vor weiteren Angriffen geschützt (andernfalls wird er vollends in Oxid überführt).

Nichtbeständige Stoffe, wie Graphit u. a., können

Tabelle 1. Eigenschaften von Oxiden

Oxid	Dichte in g cm^{-3}	Schmelztemperatur in °C	Ausdehnungskoeffizient $\alpha_{200/1500} \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$	Dampfdruck bei 2000 °C in MPa
BeO	3,01	2570	9,8	$1 \cdot 10^{-7}$
MgO	3,58	2800	15,0	$1 \cdot 10^{-5}$
CaO	3,36	2560	13,8	$1 \cdot 10^{-6}$
Al_2O_3	3,96	2050	13,3	$3 \cdot 10^{-8}$
ZrO_2	5,56	2690	≈2	$9 \cdot 10^{-9}$
HfO_2	9,68	2840	7,1	$3 \cdot 10^{-9}$
ThO_2	10,00	3300	10,1	$5 \cdot 10^{-9}$
Y_2O_3	4,50	2450	8,0	–

Tabelle 2. Klassifizierung und Hauptanwendungsgebiete oxidkeramischer Werkstoffe

KER-Typ	Oxidanteil	Hauptanwendungsgebiete
708	>90 % Al_2O_3	Bauteile für Elektrotechnik/Elektronik, z. B. Substrate, Gehäuse für integrierte Schaltkreise, Gehäuse für Dioden, Thyristoren, Verschleißteile für Maschinenbau, z. B. Gleitringe, Ziehkonen
710	>99 % Al_2O_3	Laborgeräte, Hochtemperaturrohre, Bauteile für allg. Maschinenbau (Fadenführer) und Elektrotechnik/Elektronik
712	>99 % Al_2O_3	Bauteile für Elektrotechnik/Elektronik, Schneidwerkzeuge, Dünnfilmsubstrate
730	≈97 % ZrO_2	Laborgeräte, Isolier- und Schutzrohre, Isolierteile für Hochtemperaturöfen, Festelektrolyte
790	verschiedenartige Zusammensetzung	Laborgeräte, Schleifwerkzeuge, Hochtemperaturisolierteile, Schneidwerkzeuge, transparente Keramik, Ofenauskleidungen

durch Aufbringen einer Außenhaut (Glasur u. a.) geschützt werden, jedoch sind hierbei die Spannungsverhältnisse zwischen Schutzschicht und Unterlage zu beachten.

P

Packungsdichte *(PD) – Verhältnis des Volumenanteils des Feststoffes zum Gesamtvolumen einer Schüttung bzw. eines Preßlings* (d. h. eines grobdispersen Feststoffsystems mit eingeschränkter Teilchenbeweglichkeit):

$PD = V_s/(V_h + V_s)$

V_s Volumen des Feststoffanteils
V_h Hohlraumvolumen.

Der zwischen den Teilchen vorhandene Hohlraumanteil wird als äußere Volumenporosität ε bezeichnet. Es gilt:

$\varepsilon = V_h/(V_h + V_s)$ bzw. $PD = 1 - \varepsilon$.

Zum Beispiel beträgt die äußere Volumenporosität ε für eine Sandschüttung etwa 0,40, für Filterkuchen 0,50 bis 0,90 und für Pellets 0,25 bis 0,40.

Die Werte für ε werden wesentlich beeinflußt durch

- das Gefüge* der Packung,
- den granulometrischen Zustand der Feststoffteilchen, d. h. durch die Streuung der Teilchengrößen und die Teilchenform.

Das Gefüge einer Packung kann Zufallscharakter haben oder regelmäßig angeordnet sein. Regelmäßige Packungsstrukturen weisen periodische Wiederholungen eines Elementarschemas auf. So bilden gleichgroße Kugeln regelmäßig strukturierte, sog. dichteste Kugelpackungen*. In Verbindung mit einer Koordinationszahl KZ' (Anzahl der unmittelbaren Nachbarn) bedingt der Grundaufbau des jeweiligen Elementarschemas den Zahlenwert von ε. Für regelmäßige Packungsstrukturen liegen die Grenzen bei der lockersten Kugelpackung ($KZ' = 6$) für ε bei 0,476 4 und bei der dichtesten Kugelpackung ($KZ' = 12$) für ε bei 0,259 5. [574]

s. Litzow-Kurve, Dichte, Schüttdichte

Pagoden – *Bezeichnung für die im 17. und 18. Jh. nach Europa gelangten kleinen chinesischen Götzenfiguren aus Porzellan mit beweglichem Kopf, verschiedentlich auch mit beweglichen Händen.* P. wurden von europäischen Porzellanmanufakturen nachgeahmt. [454]

Palette – eine ebene, glatte Glasplatte zum Aufmischen der Farben, bei Kunstmalern auch aus Holz und Metall.

Im Transportwesen bezeichnet man als P. einen auswechselbaren, transportablen Boden in Form eines Holzrostes o. a. zum Stapeln und Transportieren von Masse, keramischen Erzeugnissen u. a. (s. Bild S. 324 oben). P. sind standardisiert. Die Palettenverpackung ist rationell. Feuerfeste Steine und andere keramische Erzeugnisse werden auf P. aufgebaut und durch Blechecken, Stahlbänder oder Schrumpffolien zusammengehalten. Die leeren P. werden meist dem Lieferbetrieb wieder zugeschickt.

Palisadensteine (lat.: pallium = Mantel) – *langformatige Feuerfeststeine auf der Basis von schmelzgeformtem Baddeleyit-Korund für die Zustellung* von Bordwänden in Glasschmelzwannen.*

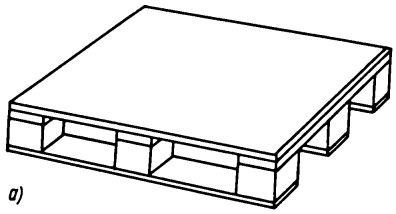
Bei der Zustellung als Palisade werden Horizontalfugen (Lagerfugen) vermieden, an denen erfahrungsgemäß erhöhte Korrosion auftritt (s. Bild S. 324).

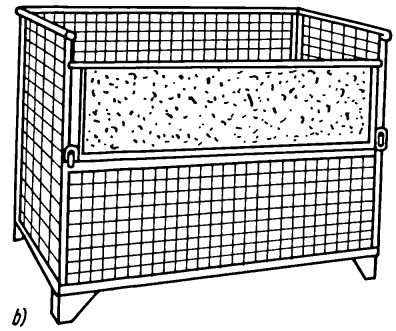
Um die Fugen zwischen den P. schmal zu halten, werden die fugenbildenden Flächen geschliffen, bzw. die gesamte Bordwand wird vormontiert. Zur besseren Wärmeisolation werden P. zunehmend lunkerorientiert gegossen.

Gegenüber der herkömmlichen Ringbauweise weist die Palisadenbauweise jedoch den Nachteil auf, daß bei starkem Spülkantenverschleiß die gesamte Bordwand erneuert werden muß, auch wenn der Angriff im unteren Teil der P. gering ist. In solchen Fällen braucht bei Ringlagenausführung nur die obere Ringlage ersetzt zu werden.

Gebräuchliche Formate von P. sind:
(200 bis 300 mm) × (500 bis 800 mm) × (800 bis 1 500 mm). [168]

Papier, feuerfestes – *ein Papier, bei dem die Rohfaser durch Verblasen von geschmolzenem Kaolin gewonnen wird.* Die bis zu 25 mm langen und etwa 2,8 µm dicken Fasern mit einer Zusammensetzung von etwa 45 % Al_2O_3, 52 % SiO_2, 1,7 % TiO_2, 1,3 % Fe_2O_3 halten bis etwa 1 260 °C und sind chemisch beständig (außer gegen Flußsäure,

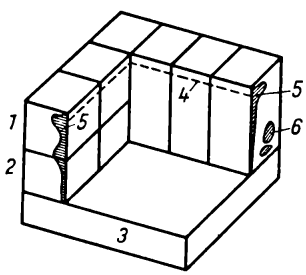




Palettenformen
a) Flachpalette
b) Gitterboxpalette

Phosphorsäure, konzentrierte Laugen). Die Wärmeleitfähigkeit wird mit 0,0047 W $(mK)^{-1}$ bei 200 °C und etwa 0,27 W $(mK)^{-1}$ bei 1200 °C angegeben.
Verwendung: hauptsächlich zu Dämmzwecken.

Paraffine (Alkane, allgemeine Formel C_nH_{2n+2}) – *ein Kohlenwasserstoffgemisch* mit einer Mol-Masse von 75 bis 400, d. h. Verbindungen $C_{20}H_{42}$ bis $C_{30}H_{62}$. Je nach Mol-Masse stellen P. wachsartige, dünne oder dickflüssige Massen dar, die geruchlos, geschmacklos, ungiftig, bildsam, isolierend und nicht klebrig ist. P. werden aus Erdöl oder durch direkte Destillation aus Braunkohlenschwelteer gewonnen. Die Schmelzpunkte der P. bewegen sich zwischen 35 und 90 °C. P. sind sehr gebräuchliche Hilfsmittel bei der Formgebung (Spritzguß, Druckguß) völlig unbildsamer keramischer Massen, wie Oxide, Enstatit, Forsterit u. a. sowie Abdeckmittel auf Porzellan zur Erzielung glasurfreier Stellen u. a.



Bassinzustellung in Palisadenbauweise (rechts) und in Ringlagenbauweise (links)
1 obere Ringlage
2 untere (zweite) Ringlage
3 Wannenboden
4 Schwappkante
5 etwa zu erwartende Korrosionstiefe
6 Lunker

Paragonit (griech.: para = neben, gonia = Winkel) – *Naturglimmer* $NaAl_2[(OH/F)_2/AlSi_3O_{10}]$, sog. heller Glimmer; bildet dichte, weiße bis hellgraue Massen; gesteinsbildend; oft in jüngeren Tonen anzutreffen.

Parallelstrombrenner – *ein Brenner, bei dem Gas und Luft parallel zueinander austreten.* Charakteristisch ist eine lange Flamme.

Parian – *unglasiertes Weichporzellan von marmorartigem Aussehen.* Das eigenartige Aussehen wird durch Verminderung des Kaolinanteils auf 25 bis 40 Masseteile zugunsten des Flußmittelanteils auf 35 bis 50 Masseteile (Feldspat, Fritte), Rest Quarz, erreicht.

Passivierung (lat.: passivus = duldend) – *Eigenschaft vieler Metalle/Verbindungen, sich unter bestimmten Bedingungen wenig reaktionsfreudig zu verhalten.* Die Ursache dafür liegt meist in der Bildung resistenter Oberflächenschutzschichten, die sich aus chemisorbiertem Sauerstoff oder Oxidschichten aufbauen. Oft sind diese Schichten so dünn, daß sie sich dem direkten Nachweis entziehen; sie lassen sich bei Metallen durch katodische Polarisierung wieder aufheben. So werden z.B. unedle Metalle (Fe, Cr, Al u.a.) infolge von P. von konz. Salpetersäure nicht angegriffen. Bei der thermischen Behandlung von SiC bildet sich eine zusammenhängende SiO_2-Schicht, die je nach Reinheitsgrad des SiC noch Al, Fe, Ti, Ni enthalten kann. Diese Schicht verhindert z. B. unerwünschte Reduzierungen von Sintergut im Kontakt mit SiC-Kapseln, erhöht aber auch bei Heizleitern auf SiC-Basis den elektrischen Widerstand. Bei Halbleitern verhindern Passivierungsschichten Bandverbiegungen bzw. Inversionen,

die sich in einer Umkehrung des Leitungstyps in den Randschichten äußern würde.

Pastellfarbe – *eine besonders flußreiche Farbe mit geringem Farbkörperanteil, so daß sich sehr zarte Farbtöne ergeben.* Die Einbrenntemperatur der vorwiegend als Spritzfarben verwendeten P. liegt bei Porzellan bei etwa 800 °C, bei Steingut bei 650 bis 720 °C.

Pastenmalerei (Reliefgoldmalerei) – *mit einem Blasgerät dem Muster entsprechend aufgeblasene Paste (aus Farbe mit Glyzerin und etwas Wasser), die bei 780 bis 800 °C aufgebrannt, dann mit Gold übermalt und nochmals gebrannt wird (bei etwa 650 °C), so daß der Eindruck von massivem Gold entsteht.* Oder es wird eine Paste (80 % Masse, 20 % Glasur) in erhabenen Konturen aufgetragen, um verschiedenfarbige Glasuren auf dem gleichen Stück scharf gegeneinander abzugrenzen (bei Fliesen).

Pâte-sur-pâte-Malerei – *Schlicker(masse)-Malerei*, die nach und nach aufgetragen wird und die im Endeffekt als farbiges Flachrelief in Erscheinung tritt.

Pause – *ein meist dünnes, durchsichtiges Pergamentpapier (bei Unterglasurdekorationen 0,03 bis 0,05 mm dicke Zinnfolie) zum Übertragen von Vorlagen oder eigenen Entwürfen auf das keramische Stück.* Mit Hilfe eines Stechers (Nadel) werden die gezeichneten Linien auf dem Papier genau nachgestochen. Dann wird die P. auf die zu dekorierende Fläche gelegt, und es wird Graphit, Ruß oder feingesiebte Holzkohle durch die feinen Löcher gerieben und somit das Muster übertragen. In der Grünmalerei (Unterglasurmalerei) benutzt man auch Schablonen aus starkem Papier, in die man das Flächenmuster mit einem scharfen Messer eingeschnitten hat. Bei neuen Mustern in der Unterglasurmalerei benutzt man Holzkohle- oder Bleistifte zum Anzeichnen.

Péclet-Zahl *(Pe) – dimensionslose Ähnlichkeitskennzahl, die das Verhältnis des gesamten Wärmetransportes zum Wärmetransport durch Leitung wiedergibt.*

Für strömende Gase in einem Rohr gilt:

$$Pe = w\, d\, \varrho\, c_p/\lambda$$

d Rohrdurchmesser (in m)
w Strömungsgeschwindigkeit (in m s^{-1})
ϱ Dichte des Mediums (in kg m^{-3})
c_p spezifische Wärmekapazität (in J (kg K)$^{-1}$)
λ Wärmeleitfähigkeit (in W (m K)$^{-1}$ = J (s m K)$^{-1}$).

Mit einer für praktische Zwecke ausreichenden Genauigkeit gilt:

$$Nu = 0{,}04\, Pe^{0{,}75}$$

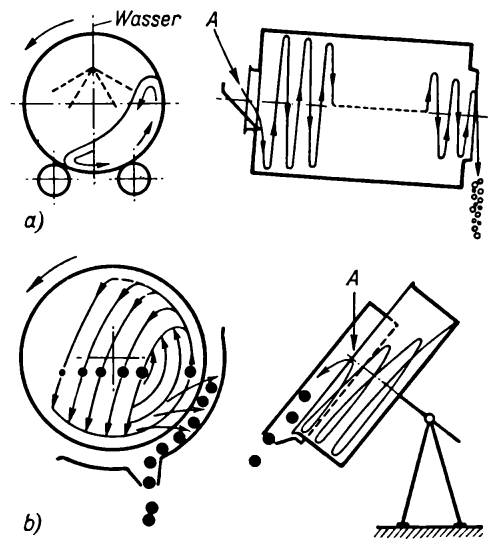
Nu *Nusselt*-Zahl*.

[419]

Pegmatit – *grobkörniges Ganggestein magmatischen Ursprungs, das in der pegmatitischen Phase der Differentiation entstanden ist* und aus Quarz, Feldspat, Glimmer und leichtmetallführenden Mineralien besteht. Es wird vielfach zur Feldspatgewinnung ausgebeutet. Nicht ganz korrekt werden in der Keramik unter P. auch verwitterte Feldspatsande mit einem gewissen Anteil an tonigen Bestandteilen (meist Kaolinit) verstanden.

Pelletieren (Rollgranulieren; lat.: pellere = rühren) – *Agglomerationsverfahren zur Gewinnung von rundlichen Gebilden aus feinkörnigen Feststoffen durch rollende Bewegung des Gutes und Einwirken von Haftkräften.*

Der Vorgang des P. wird hauptsächlich in Pelletiertrommeln und Pelletiertellern ausgeführt (s. dazu Bild, das die Arbeitsweise schematisch darstellt). Verfahrenstechnisch sind dabei zwei Stufen zu unterscheiden: die Pelletbildung und die



Arbeitsweise von Pelletierapparaten, schematisch
a) Pelletiertrommel
b) Pelletierteller

Pellethärtung. Ausgangspunkt für die Bildung von Pellets sind Pelletkeime. Aus einer Flockenstruktur bilden sich relativ schnell feste Kerne, deren Festigkeit von Flüssigkeitsbrücken bzw. vom kapillaren Unterdruck abhängig ist. Durch das Abrollen werden laufend neue Teilchenschichten angelagert, und gleichzeitig verdichten sich die Pellets. Die Pelletfestigkeit ist abhängig von

- der Teilchengröße des Aufgabegutes; die größten Teilchen sollten nicht 0,2 mm überschreiten,
- der spezifischen Oberfläche des Aufgabegutes, sie sollte größer 0,2 $m^2 g^{-1}$ sein,
- der Verweilzeit.

Das Härten der Pellets erfolgt im allgemeinen durch Brennen auf Pelletsinterbändern, im Drehrohrofen* oder Schachtofen. Durch geeignete Bindemittelzusätze kann der Effekt des Härtens auch ohne Brennen erreicht werden. In der keramischen Industrie wird mit Pellets insbesondere bei feuerfesten Massen (z. B. Schamotte) gearbeitet. [15]

s. Wirbelschichtgranulierung

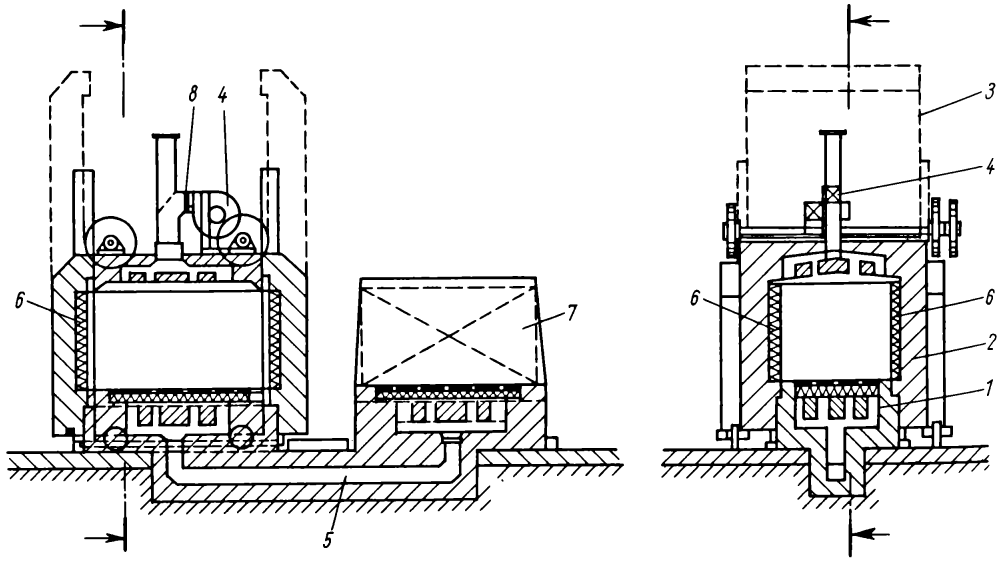
Pendelöfen (Pendelhaubenofen) – *ein in der Regel periodisch arbeitender Brennofen,* bei dem das Brenngut auf einen festen Untersatz (Ofenboden) aufgebaut und dann die elektrisch beheizte Haube darübergesetzt bzw. auf Rädern darübergeschoben wird. Während des Brennens kann auf einem zweiten Untersatz das nächste zu brennende Gut aufgebaut werden (s. Bild).

Pendelrühren – *s.* Rührwerk

Penetrometer (lat.: penetrare = durchdringen) – *Gerät zur Beurteilung der Konsistenz* pastöser, bildsamer Substanzen/Massen durch Erzeugen einer Scherspannung.* In die zu beurteilende Masse dringt ein Stift oder ein konischer Körper definierter Belastung ein; gemessen wird entweder die Eindringtiefe oder die erforderliche Zeit bis zum Erreichen einer bestimmten Eindringtiefe.

Beim P. ändert sich ständig die Berührungsfläche zwischen Eindringkörper und Substanz (im Gegensatz zu den Viskosimetern). P. eignen sich besonders zur Untersuchung von Stoffen, deren Viskosität $>10^4$ Pa s ist. [456]

s. Fließgrenze



Schema einer Elektro-Pendelofen-Anlage (nach *Horowitz*)

1 miteinander verbundene Ofenunterteile
2 Ofenoberteil mit Rollen auf einem Gleis verfahrbar
3 Zugtüren
4 Ventilator
5 Lüftungskanalsystem zwecks Wärmeausgleichs zwischen den beiden Ofenunterteilen
6 Heizwiderstände
7 Hilfshaube für den Wärmeausgleich
8 Lufterhitzer

Peptisation (griech.: peptos = verdaut)
1) Verflüssigung, Entflockung, Wiederauflösen eines koagulierten Kolloids
2) Überführen einer keramischen Masse in den gießfähigen Zustand mit Hilfe von Peptisatoren. Den gießfähigen Zustand bezeichnet man auch als Schlicker. Die Verflüssigung beruht insbesondere darauf, die Ca-Ionen der Masse durch Na-Ionen zu ersetzen und gleichzeitig dafür zu sorgen, daß sich schwerlösliche Ca-Verbindungen bilden. Der Wassergehalt eines guten Schlickers sollte den Wassergehalt der entsprechenden bildsamen Masse um nicht mehr als 2 bis 4 % übersteigen. Er beträgt bei Steingut und VC 23 bis 28 %, Steinzeug 20 bis 22 %, Porzellan 28 bis 33 %. Als Peptisatoren wirken: Soda, Wasserglas ($Na_2O \cdot 3{,}3\,SiO_2$), Natriumhydroxid, Natriumphosphate, Natriumaluminat, Ammoniumoxalat, Lithiumhydroxid, Ethylamine, Pyridin. Begünstigend wirken oft noch Bariumcarbonat, Schutzkolloide u. a.

Periklas (griech.: peri = nahe, klasis = das Zerbrechen)
s. Magnesiumoxid

Periklas-Erzeugnisse – *eine Gruppe von hoch-MgO-haltigen Feuerfesterzeugnissen,* die eine große Streubreite ihrer technischen Parameter aufweist und damit für unterschiedliche Einsatzgebiete geeignet ist.
Der Gebrauchswert der P.-E. wird wesentlich beeinflußt von:
1) Güte des MgO-Ausgangsstoffes:
- Rohdichte der Sinter- bzw. Schmelzmagnesia sollte bei 3,25 bis 3,40 g cm^{-3} liegen,
- Verunreinigungen durch Fe_2O_3 müssen sehr gering sein,
- die Summe des oft mit enthaltenen CaO + SiO_2 darf 5 % nicht übersteigen, wobei das CaO : SiO_2-Verhältnis 2,0 bis 2,4 betragen muß, da allein das Dicalciumsilicat ($2\,CaO \cdot SiO_2$) die einzige Silicatphase mit hoher Heißfestigkeit ist,
- B_2O_3-Gehalte >0,05 %, wie sie häufig in Meerwassermagnesia vorkommen, wirken sich sehr nachteilig aus.

2) Körnungsband der Masse
3) Gefüge des Werkstoffes (einschließlich Porosität)
4) Zusätze von Korund*, synthetischem Spinell* und Cr_2O_3 verbessern die Eigenschaften.
Die wichtigsten P.-E. sind:
- Periklas-Steine mit 85 bis 95 % MgO:
  Rohdichte: ≈3 g cm^{-3}, Porosität: 20 bis 25 %, *KDF:* 30 bis 100 MPa, Druckerweichung $T_{0,6}$: 1450 bis 1700 °C, *WAK:* $14 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$;
- Periklas-Chromit-Steine mit 60 bis 80 % MgO und 6 bis 20 % Cr_2O_3:
  Rohdichte: >3 g cm^{-3}, Porosität: 18 bis 24 %, *KDF:* 20 bis 50 MPa, Druckerweichung $T_{0,6}$: 1550 bis 1650 °C, *WAK:* $12 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$;
- Chromit-Periklas mit 30 bis 50 % MgO und 25 bis 35 % Cr_2O_3:
  Rohdichte: >3 g cm^{-3}, Porosität: 20 bis 25 %, *KDF:* 15 bis 45 MPa, Druckerweichung $T_{0,6}$: 1500 °C, *WAK:* $9{,}5 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$.

P.-E. werden insbesondere in Glasschmelzwannen, in der Stahlindustrie in Konvertern, SM-Öfen u. a. eingesetzt. [144, 168]

Peritektikum (griech.: tektos = geschmolzen) – *charakteristische Konzentration in Zwei- und Mehrstoffsystemen.* Es tritt in Zweistoffsystemen auf, wenn eine inkongruent schmelzende Verbindung vorliegt und die Liquiduskurve keinen Extremwert aufweist.
s. Systeme, binäre

Perlglasuren – *Bleiglasuren*, die durch Zusätze von Phosphaten (30 bis 50 % BPO_4) ein perlartiges (halbkugelartiges) Oberflächenrelief enthalten.* Durch Zugabe von färbenden Oxiden werden besondere Effekte erzielt. P. sind nicht witterungsbeständig.

Permeabilität
1) Absolute P. μ_0 – Proportionalitätsfaktor zwischen der magnetischen Induktion B und der Feldstärke H im Vakuum:

$$B = \mu_0 H.$$

Die absolute P. hat dabei den Wert
$\mu_0 = 4\pi\,10^{-9}\,V\,s\,(A\,cm)^{-1}$.
2) Relative P. μ_{rel} – dimensionslose Materialkenngröße, die angibt, um welchen Faktor sich die magnetische Induktion des Materials gegenüber dem magnetischen Feld im Vakuum (Leerinduktion $\mu_0 H$) ändert.
s. Gasdurchlässigkeit*

Permeation (lat.: permeare = durchwandern) – *Dringen von Gasen/Flüssigkeiten durch nichtporöse Membrane/Werkstoffe.*
Der Prozeß besteht aus den Teilschritten:
- Absorption*, d. h. Aufnahme der Moleküle an der Oberfläche einer Wand,

- Diffusion durch die Wand,
- Desorption, d. h. Abgabe der Moleküle an der anderen Oberfläche der Wand.

Bekannt sind z. B. die hohen Permeationsraten von H_2 durch Palladium und Nickel, von O_2 durch Silber, von He durch Kieselglas, überhaupt von äußerer Atmosphäre durch das Wandmaterial von Vakuumanlagen. Mit wachsender Zeit erreichen die Permeationsraten einen konstanten Wert.
s. Gasdurchlässigkeit

Permittivitätszahl (lat.: permittere = übergeben, anvertrauen) – Synonym für relative Dielektrizitätskonstante*.

Perowskit ($CaTiO_3$) – nach dem russischen Fürsten *Perowski* benannt.
Chemische Zusammensetzung: 41,2 % CaO, 58,8 % TiO_2, verschiedentlich Gehalte an Fe, Cr, Al und seltenen Erden
Kristallographie: kubisch, jedoch in monokline Zwillingslamellen zerfallend; Flächenstreifung; spaltbar nach (100)
Physikalische Eigenschaften: grauschwarz bis braun; $H = 5{,}5$ bis 6; $D = 4{,}0\ g\,cm^{-3}$; $n = 2{,}3$ (Diamantglanz). [8]

Perowskit-Gitter – *ein nach dem Perowskit (Calciumtitanat $CaTiO_3$) benannter Gittertyp mit der allgemeinen Formel $A^{2+}B^{4+}O_3^{2-}$*, wobei
A^{2+}: Ba^{2+}, Sr^{2+}, Pb^{2+} und
B^{4+}: Ti^{4+}, Zr^{4+} u. a.
sein können (s. Bild). Die zweiwertigen Kationen A besetzen die Ecken des Würfels, die zweiwertigen Sauerstoffionen nehmen die Flächenzentren des Würfels ein, und das vierwertige Kation B sitzt im Zentrum des Würfels; es ist oktaedrisch von Sauerstoffionen umgeben. Das B-Ion hat in bezug auf das A-Ion 12er Koordination. Die kubische Symmetrie ist jedoch nur oberhalb einer bestimmten Temperatur (der sog. *Curie*temperatur*) existent. Unterhalb dieser Temperatur verzerrt sich das Gitter. Dabei sind folgende Strukturvarianten, die in einem bestimmten Maße von der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung abhängen und reversibel ineinander überführt werden können, bekannt:
- eine tetragonal verzerrte Phase nach [100] – Vergrößerung einer Würfelkante gegenüber den beiden anderen,
- eine orthorombisch verzerrte Phase – Verzerrung längs einer Flächendiagonalen in Richtung [110],
- eine trigonal (rhomboedrisch) verzerrte Phase – Verformung des Gitters in Richtung der Raumdiagonalen [111] der Elementarzelle.

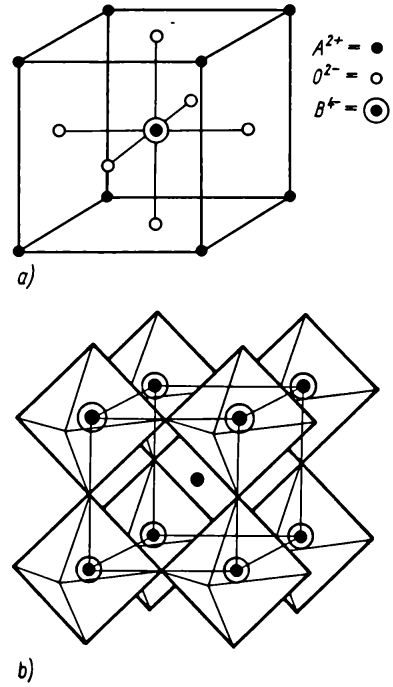
Diese Verzerrungen bewirken eine Trennung der Ladungsschwerpunkte der positiven und negativen Ionen, was sich dann in der Ausbildung von Dipolmomenten äußert. [239, 328, 452]

Perthit – *s.* Alkalifeldspat

Perthometer – *nach dem Erfinder Perthen benannte Präzisionsmeßgeräte* zur Erfassung von Gestaltabweichungen* erster bis fünfter Ordnung.
s. Oberflächenrauhigkeit, Tastschnittgerät, Welligkeit

Petalit ($Li[AlSi_4O_{10}]$)
Kristallographie: monoklin
Physikalische Eigenschaften: farblos bis rötlich: $D = 2{,}4\ g\,cm^{-3}$; $H = 6{,}5$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}504$, $n_\beta = 1{,}510$, $n_\gamma = 1{,}516$, $\Delta n = +0{,}012$; $2V = 84°$.
Verwendung: Rohstoff für Werkstoffe mit sehr kleinem thermischem *AK*.

Petersburger Manufaktur – *eine Porzellanmanufaktur*, deren erste Versuche 1717 nachweis-



a) Ausschnitt aus dem Perowskit-Gitter (atomar)
b) Perowskit-Gitter in koordinativer Darstellung
⊙ B^{4+}, ● A^{2+}

bar sind, die aber erst um 1750 kleinere Stücke und zwei Jahre später auch Statuetten fertigte. Seit 1765 ist ein beachtlicher künstlerischer Aufschwung zu verzeichnen. So fand die Klassik einen starken Niederschlag in den riesigen Prunkamphoren mit Darstellungen berühmter Schlachten, in Statuetten und Büsten aus Biskuitporzellan, in Vasen im Stil der Antike.

Fabrikmarke der Petersburger Manufaktur

St. Petersburg 1755

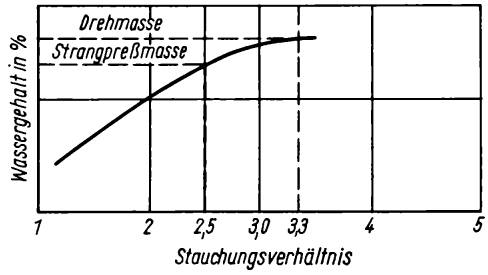
Pfannenstein – *ein Quarz-Schamotte-, Sinterdolomit-, Zirkon-Erzeugnis mit Feuerfestigkeiten von 1 500 bis 1 730 °C zum Zustellen der Wandung (als Radialstein), des Pfannenbodens, zur Auskleidung von Gießpfannen (Pfannenlochstein).* P. auf der Basis von Quarz-Schamotte haben im allg. einen Al_2O_3 + TiO_2 -Gehalt von 22 bis 32 % und einige Prozent Flußmittelanteil, Rest SiO_2. Von ihnen werden gute Maßhaltigkeit, niedere Porosität, dichte Textur bzw. niedrige Permeabilität und gute *KDF* gefordert. Die Zusammensetzung der Schlacke und die Stahlart spielen eine Rolle.

Pfefferkorn, Bestimmung nach – *ein nach Pfefferkorn benanntes Stauchverfahren zur Prüfung des Viskositätsverhaltens einer keramischen Masse.* Der Vorgang beruht auf der Stauchung von Masse- oder Tonzylindern mittels eines fallenden Gewichtes bei konstanter Fallhöhe. Die Masse mit der größeren Feuchtigkeit (Bildsamkeit) wird mehr gestaucht. Vom gestauchten Prüfkörper kann der Feuchtigkeitsgehalt ermittelt werden, um zur günstigen Bildsamkeit von Arbeitsmassen zu kommen. Das Verhältnis der Höhe des Körpers nach der Deformation h_1 zur ursprünglichen Höhe h_0 wird als Funktion des Wassergehaltes der Masse (bezogen auf Trockensubstanz) graphisch aufgetragen. Der sich ergebende Wassergehalt für das Deformationsverhältnis $h_0:h_1 = 3{,}3$ wird als Bildsamkeitszahl nach P. bezeichnet (s. Bilder).

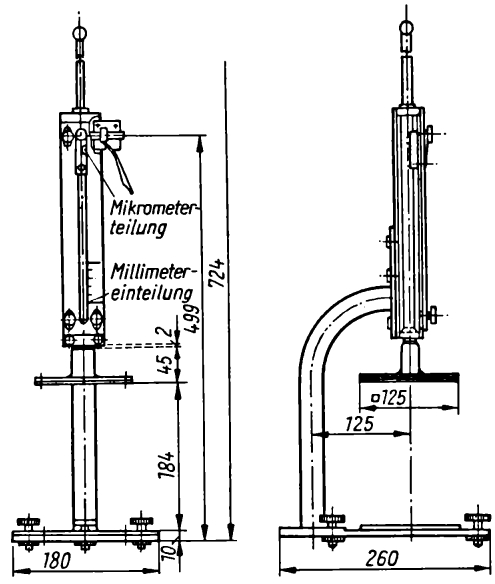
Pflugscharmischer – *Mischgerät, das meist zum Untermischen von festen und flüssigen Zusätzen zu einem Versatz* herangezogen wird.* In einem zylindrischen Mischbehälter wird das Mischgut durch pflugscharähnliche Mischwerkzeuge, die auf einer Mischerwelle angebracht sind, umgewälzt.

Phase (griech.: phasis = Erscheinung)

1) Thermodynamik – homogener Teil eines Systems, der vom Rest des Systems durch erkennbare Grenzen getrennt ist. Eine Phase hat einen bestimmten Zustandsbereich, der als Funktion f der Zustandsgrößen Druck p, Temperatur T, Magnetfeldstärke H, elektrische Feldstärke F und Konzentration G der Komponenten darstellbar ist.



Pfefferkorn-Diagramm
Wassergehalt einer Masse in Prozent in Abhängigkeit vom Stauchungsverhältnis mit angegebenen günstigsten Stauchungsverhältnissen für Strangpreßmasse und Drehmasse (nach *Plaul*)



Stauchgerät nach *Pfefferkorn*
Fallmasse 1 192 g, Maße in mm

In keramischen Werkstoffen können Phasen in Form vieler individualisierter Baueinheiten vorliegen, die ihre Eigenständigkeit vom Rohstoff her gewahrt oder erst durch den technologischen Prozeß erlangt haben. Phasen können ihrer Natur nach kristallin, glasig oder gasförmig als Poren vorliegen.

Enthält eine Phase nur einen einzigen Stoff, so spricht man von reinen Phasen (z. B. die allotropen Modifikationen, verschiedene Aggregatzustände), sind mehrere Komponenten beteiligt, dann entstehen die sogenannten Mischphasen. Die Zahl der Phasen ist durch das *Gibbs*sche Phasengesetz* mit den Zustandsvariablen und der Zahl der Komponenten des Systems verknüpft (s. Mischkristall*).

2) *Schwingungslehre* – die zeitliche Entfernung eines Schwingungszustandes vom festgelegten Nullpunkt. Eine sinusförmige Schwingung wird durch die Gleichung

$$a = a_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{T} - \varphi_0\right)$$

a momentane Auslenkung zur Zeit t
a_0 maximale Auslenkung oder Amplitude zur Zeit t_0
T Schwingungsdauer

beschrieben (s. Bild). Das Argument der Sinusfunktion $2\pi \frac{t}{T} - \varphi_0$ heißt Phasenwinkel, φ_0 ist die Phasenkonstante. Die Punktpaare A, A' und P, P' haben die gleiche Phase. Zwei gleichfrequente Schwingungen mit den Phasenkonstanten φ_0 und φ_0' weisen eine Phasendifferenz $\alpha = \varphi_0 - \varphi_0'$ auf; sie wird auch Phasenverschiebung genannt.

Phase, intermetallische (intermetallische Verbindungen) – *Kristallverbindungen, die in einem gewissen Gegensatz zu den normalen chemischen Verbindungen stehen.* Folgende Bedingungen sind für das Auftreten i. P. notwendig *(Stilwell)*:

- großer, jedoch nicht extremer Unterschied in den Atomradien der Bildungselemente, so daß eine Koordinationszahl von 8 und höher möglich wird.
- verschiedene Wertigkeiten der Elemente: je elektronegativer A gegen B ist, desto eher ist eine Verbindung zu erwarten.
- mäßige Anziehungskräfte,
- verschiedene Kristallstrukturen der Elemente.

Bei den i. P. liegt meist keine strenge stöchiometrische Zusammensetzung vor, sondern sie haben mehr oder weniger ausgeprägte Homogenitätsbereiche.

Phasenabstandhalter (Separatoren) – *biegesteife Stabilisatoren aus Porzellan, die zur Verhinderung von langwelligen Leiterseilschwingungen (sog. Seiltanzen) zwischen die Leiterseile von Hochspannungsfreileitungen innerhalb eines Spannungsfeldes installiert werden.*

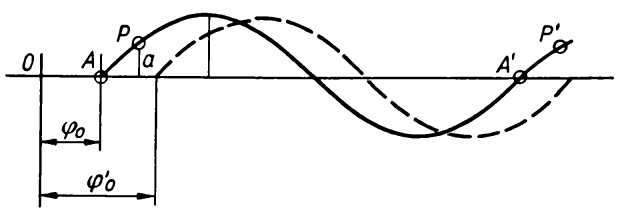
Leiterseilschwingungen führen zu überhöhten dynamischen Beanspruchungen von Leiterseilen, Armaturen und Mastisolatoren.

Phasenanalyse – Untersuchungsverfahren, die zur Charakterisierung von Kristallen und amorphen Substanzen geeignet sind. Es handelt sich dabei vorwiegend um das Erfassen stoffspezifischer physikalischer Eigenschaften, die direkt zur Identifizierung der Substanzen führen, ohne dazu den Weg über die Auswertung chemischer Analysen beschreiten zu müssen (s. Gegenüberstellung Phasenanalyse – Chemische Analyse, S. 331).

Die wichtigsten Phasenanalysenverfahren sind:
IR – spektrokopische Phasenanalyse, Röntgenbeugung, Elektronenbeugung, Mikroskopische Phasenanalyse, Thermische Phasenanalyse.
s. Dilatometrie

Phasenanalyse, IR-spektroskopische – *spektroskopische Untersuchungsverfahren, die den Besonderheiten der infraroten* Strahlung angepaßt sind.*

Die Absorption von Strahlungsenergie im IR-Bereich bewirkt Veränderungen des Rotations- bzw. Schwingungszustandes der Moleküle und liefert



Sinusförmige Schwingung

Probe
(Festkörper)

Phasenanalyse	*Chemische Analyse*
Messung stoffspezifischer physikalischer Eigenschaften und ihre Auswertung	Messung von chemischen Eigenschaften von Atomen, Ionen oder Molekülgruppen
↓	↓
Art und Menge der in einer Probe enthaltenen Phasen	in der Probe enthaltene Art und Menge von Atomen, Ionen oder Molekülgruppierungen
	↓
	in günstigen Fällen: Angabe der in der Probe enthaltenen chemischen Verbindungen

damit Informationen über deren Größe, Bindungskräfte, Dipolmomente u. a. Solcherart Energiedifferenzen können sowohl in Emission als auch Absorption aufgenommen werden. Da der Nachweis von emittierten Strahlungen in diesem Bereich schwierig ist, wird hier generell die IR-Absorption beobachtet. Die Aufzeichnung der IR-Absorption ergibt Bandenspektren (begrenzte Teile eines Wellenbereichs), in denen zwei verschiedenartige, analytisch jedoch wichtige Aussagen gespeichert sind:

- die Lage (Frequenz) charakteristischer Banden, angegeben in der Wellenlänge (µm) oder Wellenzahl (cm^{-1}),
- die Intensität der Banden (Stärke der Absorption), angegeben in % Durchlässigkeit sowie ihre Form bzw. Halbwertsbreite.

Das folgende Bild gibt schematisch den Strahlengang eines IR-Spektralphotometers wieder.

Ein thermischer Kontinuumsstrahler sendet polychromatische IR-Strahlung aus, die zeitlich gleich Untersuchungssubstanz und Vergleichsprobe passiert. Die Strahlung, aus der die Untersuchungssubstanz bestimmte, für sie typische Anteile absorbiert hat, wird in einem Monochromator spektral zerlegt (Monochromator: Vorrichtung zur Auswahl von Teilchen nach ihrer Energie oder von Wellen nach ihrer Frequenz). Als Empfänger zum Messen dieser Strahlung dient ein Thermoelement; es mißt den von der Probe durchgelassenen Lichtstrom I im Verhältnis zum unveränderten Vergleichsstrom I_0 für jede Wellenlänge des eingestrahlten Spektralbereichs. Als Präparate werden Pulver, deren Korngröße unter der Wellenlänge der IR-Strahlung liegt (1 bis 2 µm Durchmesser), verwendet, die Menge liegt bei 1 mg.

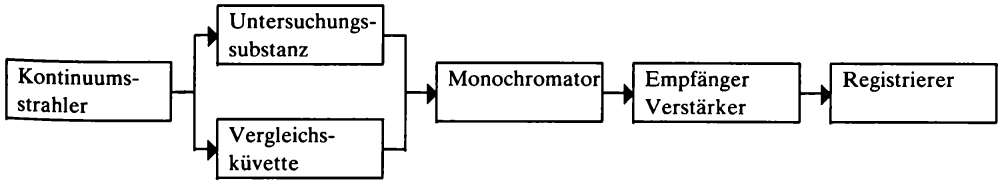
1) Qualitative Phasenanalyse – das IR-Spektrum liefert für jede Phase mit homöopolaren Bindungsanteilen ein spezifisches Charakteristikum; es variiert schon bei geringen Strukturänderungen so auffallend, daß zwei verschiedene Phasen prinzipiell an den Unterschieden ihrer Spektren erkannt werden können.

2) Quantitative Phasenanalyse – sie nutzt den Zusammenhang zwischen Konzentration eines Anteils in der Probe und der Intensität einer für ihn spezifischen Bande. Die quantitative P. beruht auf der Tatsache, daß bei monochromatischer Strahlung die Konzentration des absorbierenden Stoffes der Extiktion proportional ist (*Lambert-Beer*sches Gesetz). Der erfaßbare Konzentrationsbereich für die quantitative IR-Spektralanalyse (s. Tabelle S. 332) liegt im allg. zwischen 1 und 100 %, in günstigen Fällen bei 0,1 %.

[31, 117]

Phasenkontrastmikroskopie – *mikroskopisches Verfahren, bei dem die unsichtbaren, geringen Phasenänderungen, die das Licht in mikroskopischen Objekten (z. B. Triafolabdrücke von Oberflächen) erleidet, in Intensitätsänderungen umgewandelt und damit sichtbar gemacht werden.* Man erreicht dies dadurch, daß bei der Abbildung der Objekte das direkte Licht gegenüber dem gebeugten etwas in der Phase verschoben und geschwächt wird.

Zur Durchführung benötigt man im Durchlicht



Strahlengang eines IR-Spektralphotometers, schematisch

Präzision quantitativer IR-spektraler Analyse

Mineralart	Gesteinstyp	Nachweisgrenze in %	Präzision bei der Konzentration von 50 %
Carbonate	jede Art	0,5	± 3
Quarz	jede Art	1	± 3
Plagioklas	jede Art	3	± 5
Orthoklas	Granit	3	± 5
Kaolinit	Verwitterungsprodukt	3	± 3
Montmorillonit	Verwitterungsprodukt	25	±10

einen Phasenkontrastkondensor, Phasenkontrastobjektive (Aufschrift Ph) und ein Hilfsmikroskop für Phasenkontrast. Erst wenn letzteres die Beobachtung der Phasenplatte und des Bildes der Kondensorblende in der hinteren Brennebene des Objektivs erlaubt, kann mit dem Okular das Phasenkontrastbild beobachtet werden. Das Verfahren gestattet, feinste Unterschiede im Oberflächenrelief eines Körpers wiederzugeben.

Phenakit ($Be_2[SiO_4]$) – Nesosilicat.
Kristallographie: trigonal, isotyp mit Eukryptit
Physikalische Eigenschaften: farblos bis leicht gelb; $D = 2{,}97$ bis $3{,}0\,g\,cm^{-3}$; $H = 7{,}5$ bis 8; *o. D.:* $n_\varepsilon = 1{,}670$, $n_\omega = 1{,}654$, $\Delta n = +0{,}016$.

Phosphatbinder – *chemische Binder auf der Basis von Monoaluminiumphosphat $Al(H_2PO_4)_3$ und Zusätzen von Wasserglas, Mg-Sulfaten bzw. Chloriden für ungeformte feuerfeste Baustoffe.*
Der Verfestigungsbeginn liegt bei etwa 100 bis 250 °C, die Anfangsfestigkeit bleibt ohne Durchschreitung eines Festigkeitsminimums bis zu hohen Temperaturen, bei denen noch eine keramische Bindung hinzukommt, erhalten.
P. sind gut geeignet für Al_2O_3, Schamotte u.a., weniger für Silica, Magnesia.

Piezoelektrizität (griech.: piezein = drükken) – *Eigenschaft bestimmter Kristalle, bei Deformation auf ihren Oberflächen elektrische Ladungen hervorzubringen.* Durch die mechanische Beanspruchung werden die Ladungsschwerpunkte der verschiedenen Ionen relativ zueinander verschoben, so daß sich Dipole aufbauen bzw. bereits vorhandene Dipole sich ändern. Dieser piezoelektrische Effekt tritt nur bei Kristallen auf, die über polare Symmetrieachsen (Symmetrieelemente) verfügen. Eines der bekanntesten Materialien, die diesen Effekt aufweisen, ist der trigonale unverzwillingte Quarz. Im Innern des Kristalls heben sich die Ladungen auf, auf den Oberflächen zeigen die gegenüberliegenden Flächen entgegengesetzte Vorzeichen. Bild 1 zeigt eine Quarzplatte mit ihrer Normalen und die kristallographische *c*-Achse, die hier gleichzeitig sechszählige Symmetrieachse und optische Achse ist. Senkrecht auf der *c*-Achse stehen die drei kristallographischen *a*-Achsen: a_1, a_2, a_3. Sie sind zugleich die *polaren Symmetrieachsen*, in diesem Zusammenhang auch *piezoelektrische Achsen* E_1, E_2, E_3 genannt. Nur auf Schnitten, die eine dieser Achsen zur Normalen haben, kann der piezoelektrische Effekt nachgewiesen werden. Die feinbaulichen Zusammenhänge sind den Bil-

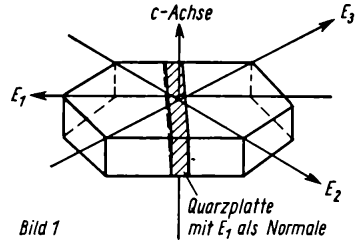


Bild 1

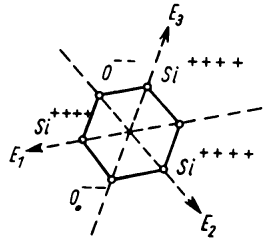


Bild 2

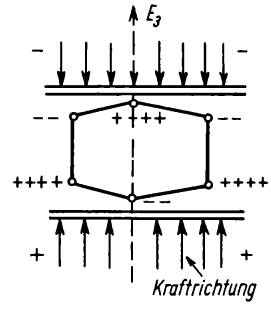


Bild 3

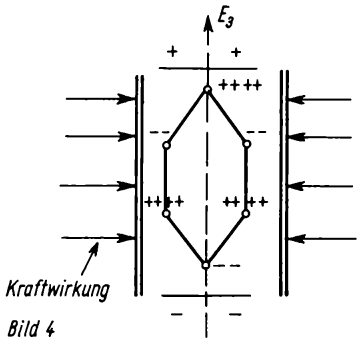


Bild 4
Entstehung des piezoelekrischen Effektes

dern 2, 3, 4 zu entnehmen. Bild 2 zeigt das vereinfachte (unverzwillingte) Quarzgitter, Bild 3 verdeutlicht, daß durch das Zusammendrücken des positiv geladenen Siliciumions auf der oberen Seite die negativen Sauerstoffionen überwiegen, dagegen resultiert auf der unteren Seite durch das Zurückdrängen des Sauerstoffions eine positive Aufladung. Man spricht in diesem Falle auch von *longitudinalem Piezoeffekt*, da die deformierenden Kräfte in Richtung der polaren Achse wirken. In Bild 4 wird sichtbar, daß die verformenden Kräfte senkrecht zur Symmetrieachse wirken, deshalb spricht man auch von *transversalem Piezoeffekt.* Die Aufladung ist entgegengesetzt der des Bildes 3. Der Piezoeffekt ist umkehrbar, d.h., bei Anliegen eines elektrischen Wechselfeldes führt der Quarz mechanische Schwingungen aus (Schwingquarz). Dieser Vorgang wird z.B. zur Frequenzstabilisierung von Röhrensendern, in Quarzuhren u.a. genutzt. Der Piezoeffekt hat heute eine breite technische Anwendung gefunden. Außer bei Quarz tritt er u.a. bei Turmalin, Seignettesalz, Natriumchlorat, Weinsäure und vielen synthetischen Piezowerkstoffen auf. Die P. kann nur in 20 Symmetrieklassen (von 32) auftreten. Eng verwandt damit ist die Pyroelektrizität.

Piezokeramikwerkstoffe – *nach keramischer Technologie gefertigte, polykristalline Dielektrika, die aufgrund ihrer inneren, unsymmetrisch verzerrten Ordnung zur Piezoelektrizität* befähigt sind.* P. sind Ferroelektrika* und kristallisieren im Perowskit-Gitter*; nach ihrer Zusammensetzung handelt es sich um Titanate, z.B. Bariumtitanat*, um feste Lösungen von $PbTiO_3$-$PbZrO_3$ – sog. PZT-Keramik* und deren Weiterentwicklungen zu ternären Modifikationen.

Die wichtigsten technischen Parameter der P. sind der Kopplungsfaktor k_p, dessen Quadrat ein Maß dafür ist, welcher Anteil der eingesetzten elektrischen Energie in mechanische umgewandelt wird bzw. umgekehrt von mechanischer Energie in elektrische, und der mechanische Gütefaktor Q_m, als Maß für die mechanischen Verluste bei elektromechanischen Wandlern.

Die technisch interessanten Eigenschaften der P. werden neben dem Sinterregime* beeinflußt durch

- die chemische Zusammensetzung (einschließlich Reinheit der Rohstoffe),
- die Kristallstruktur (Kationen-Anionenverteilung, Fehlstellenkonzentration),
- das Gefüge* (Korngrößen, Porosität u.a.).

Ein wesentliches Phänomen der P. ist die spontane Polarisation unterhalb der *Curie*temperatur*. Sie kann in Kristallen, die sich im festen Gefügeverband mit ihren Nachbarn befinden, nur ablaufen, wenn die Geometrie der Kristalle annähernd erhalten bleibt und sich eine feine Struktur von Domänen bildet.

Polykristalline P. können im allgemeinen piezoelektrische Einkristalle nicht ersetzen, aber sie können das Wertespektrum der Einkristalle wesentlich erweitern und ergänzen, und mit den Mitteln der keramischen Technologie können komplizierter geformte Teile gefertigt werden, als das bei Einkristallen möglich ist.

P. werden eingesetzt in Schall-Wandlern, zur Materialprüfung, in der mechanischen Diagnostik, für Frequenzfilter, Leistungs-Ultraschall, Piezozünder u.a. [239]

Pigmente (lat.: pigmentum = Farbe)

1) Allgemein – *organische oder anorganische Farbstoffe, die in Binde- oder Dispergierungsmitteln weitgehend unlöslich sind.*

2) Keramische Pigmente – *meist als keramische Farbkörper* bezeichnet* – dienen in feinstverteilter Form zum Einfärben von Glasuren*, Massen*, Engoben*, Emails*, Gläsern* und bilden einen wesentlichen Bestandteil vieler keramischer Farben. An keramische P. werden hohe Forderungen in bezug auf thermische und korrosive Stabilität und Lichtbeständigkeit gestellt. Die bekanntesten Vertreter keramischer P. sind Spinellfarbkörper und neuere Entwicklungen, wie Einschlußpigmente* und Wirtsgitterfarbkörper*. [308, 317, 336, 455]

Pinkfarben (engl.: pink = Nelke) – *ein bei*

1200 bis 1250°C geglühtes Gemisch von Cr_2O_3, SnO_2 und CaO. Die Tönung dieses Farbkörpers geht von tiefem Nelkenrot bis zur hellen Fliederfarbe. Die karmesinrote Nuance hat die Zusammensetzung $CaO \cdot SnO_2 \cdot 0{,}024\, Cr_2O_3$ und wird Crimsonrot genannt. P. erscheinen um so roter und feuriger, je mehr CaO enthalten ist; kalkfreie Mischungen ergeben violette Töne. Bei fehlendem CaO und steigendem B_2O_3 geht die Farbe in fliederfarben über. Über die Ursachen der Färbung gibt es zwei Ansichten:

1) kolloid verteiltes Cr_2O_3,

2) rotes Zinnchromat.

P. werden v. a. als Steingut-Unterglasurfarbe und für farbige Pinkglasuren verwendet. Diese in oxydierender Atmosphäre aufgebrannten Glasuren haben einen Pinkfarbkörperzusatz von etwa 10 bis 20%. In Bleiglasuren (PbO nicht über 0,7 Mol) färbt ein solcher Zusatz rot, in bleifreier Borsäureglasur (B_2O_3 nicht über 0,3 Mol) bläulichrot. [164]

Pinnstelle – *ein Fehler in Form einer sichtbaren Berührungsstelle* zwischen dem glasierten Erzeugnis und dem Brennhilfsmittel. Die P. entsteht während des Glattbrandes.

Pinselmalerei – *eine Handmalerei*, die an den Kerammaler hohe Anforderungen in bezug auf genaue Kenntnis der unterschiedlichen Mischungsverhältnisse bei den verschiedenen Farben, deren Anteil an Malmitteln, auf die Verträglichkeit und Mischbarkeit der Farben untereinander, die richtige Pinselwahl, die sichere Pinselführung, die Fähigkeit, gut zu kopieren, usw. stellt. Die P. reicht vom einfachen Dekor bis zur Übertragung ganzer Gemälde und wird heute fast nur noch bei wertvollem Zierporzellan (einschließlich Figurenporzellan) angewendet. Bei ständig wiederkehrenden Dekorationen ist die P. weitgehend durch Schiebebild und Siebdruck abgelöst worden.

s. Handmalerei

Plagioklase (griech.: plagios = schief, klastein = spalten – *zusammenfassende Bezeichnung für die schiefwinklig spaltenden Natrium- und Kalkfeldspate*, die nur ein sehr schmales Schmelzintervall haben und deshalb für keramische Massen als Flußmittel weniger, sondern eher als Glasurspat geeignet sind.

s. Feldspat

Plasma (griech.: plassein = formen) – *quasineutrales Vielteilchensystem in Form gasartiger bzw. fluider Mischungen freier Elektronen, Ionen und neutraler Teilchen (Atome, Moleküle) mit hoher mittlerer kinetischer Energie aller Plasmakomponenten* (1 eV bis 2 MeV); verallgemeinernd auch als vierter Aggregatzustand bezeichnet.

Technisch werden folgende Eigenschaften des P. genutzt (nach *Rutscher* u. *Deutsch*):

- Die hohen Temperaturen, sie betragen 3000 bis 50000 K und sind auch bei kleinen umgesetzten Leistungen (<1 kW) so hoch, daß grundsätzlich alle Stoffe geschmolzen und verdampft werden können.
- Die hohen absoluten Energieinhalte, sie liegen bei 10^6 bis 10^8 J m^{-3}, dadurch können in das P. eingebrachte Teilchen in 10^{-3} s geschmolzen oder verdampft werden.
- Die hohen Energiestromdichten, sie betragen 10^6 bis 10^{13} W m^{-2} und bilden die Grundlage für alle Schmelz- und Schweißanwendungen.

[447]

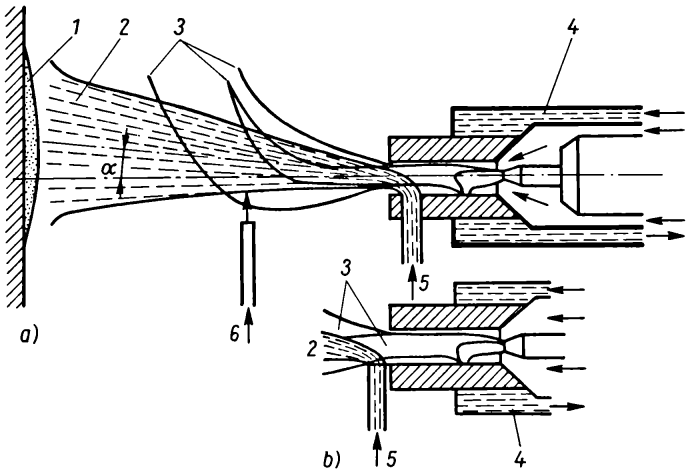
Plasmaspritzen – *Auftragen von Pulvern* mit Hilfe von indirekten Plasmatrons**.

Außerhalb des Kurzlichtbogens einer anodisch gepolten Plasmaausströmdüse werden pneumatisch (meist radial) Pulver in Korngrößen von etwa 50 bis 100 µm zugeführt. Das Pulver schmilzt im Plasmastrahl und wird auf eine Unterlage geschleudert (s. Bild S. 335 oben).

Die Spritzpulver (Keramik, Hartstoffe, Metalle) werden mit Fördergeräten dosiert dem Plasmatron zugeführt. Die zu beschichtende Unterlage muß eine geeignet vorbereitete Oberfläche* aufweisen, d. h., sie muß durch Sandstrahl aufgerauht oder angeätzt werden. Durch P. können auf weniger hochwertigen Werkstückmaterialien abrieb- und korrosionsfeste Schichten aufgebracht werden. Keramische Pulver erfahren oft während des Aufschmelzens eine Phasenumwandlung (z. B. $\alpha\text{-}Al_2O_3 \rightarrow \gamma\text{-}Al_2O_3$), was zu einer porösen Schicht führt. Durch P. in Inertgasatmosphäre oder Vakuum können die Schichten verbessert werden. [91, 447]

s. Schoopen

Plasmatron (Plasmagenerator, gelegentlich nicht korrekt auch als Plasmabrenner bezeichnet) – *Plasmaerzeuger mit Lichtbogen oder HF-Entladung als Energiequellen*, deren Plasma durch Gasströmungen überlagert und außerhalb der Konstruktionseinheit technisch oder wissenschaftlich genutzt wird.



Prinzip des Plasmaspritzens
a) mit Pulverzufuhr innerhalb,
b) außerhalb der Plasmatronausströmdüse
1 aufgespritzte Schicht
2 Pulverstrahl
3 Plasmastrahl
4 Plasmatron
5 Pulvereindüsung mit Fördergas
6 Kaltgaseindüsung zum Fernhalten des Plasmas vom Werkstück
α Winkel zwischen Plasmastrahl und Pulverstrahlachsen

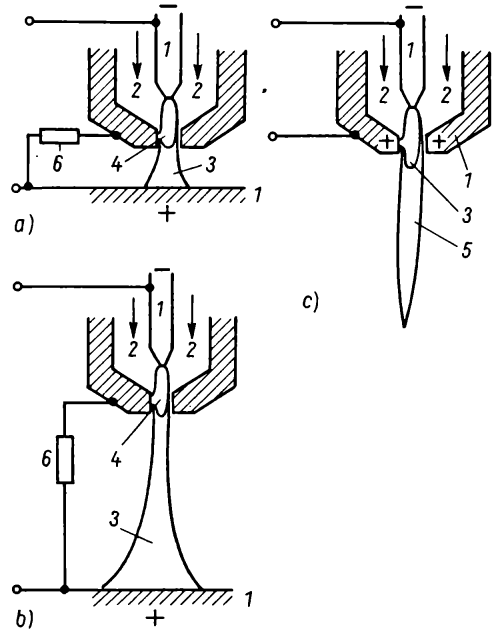
Nach den genutzten Plasmabereichen werden unterschieden:
- technisch genutzte Lichtbögen in geschlossenen Gefäßen, z. B. Lichtbögen in Schmelzöfen,
- *direkte P.* – Plasmaerzeuger mit einem durch eine Düse geführten und stabilisierten, auf ein Werkstück gerichteten Lichtbogen (s. Bild),
- *indirekte P.* – Plasmaerzeuger mit einem aus einer Düse oder auch mehreren Düsen ausströmenden, elektrisch nicht stromführenden Plasmastrahl (s. nebenstehendes Bild).

[447]

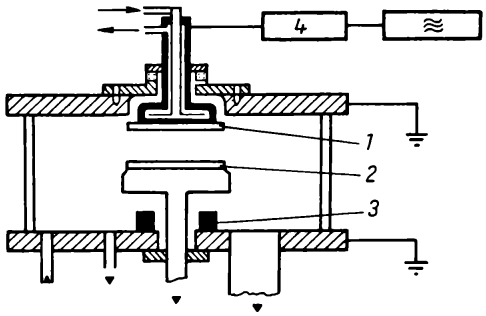
Plasmazerstäubung (Hochratezerstäubung) – *Verfahren zur Erzeugung dünner Schichten (z. B. mikroelektronischer Strukturen) sowie zum Aufbringen von Edelmetallen/Edelmetallersatzstoffen in der keramischen Dekoration* durch
- Herauslösen von Teilchen aus Werkstoffproben – sog. *Targets* – in verdünnter Edelgasatmosphäre mittels Ionenbeschusses und
- Transport dieser Teilchen durch das Arbeitsgas zum Substrat.

Als Targetmaterial können elektrisch leitende Stoffe bei Anwendung von Gleichspannung oder nichtleitende Stoffe bei Anwendung von HF-Wechselspannung (z. B. oxidische oder nichtoxidische Keramik) verwendet werden (s. Bild S. 336).

Das Herauslösen der Teilchen aus dem Target geschieht durch Wechselwirkungen mit dem Transportraum. Die für diesen Vorgang erforderliche Energie wird entweder durch beschleunigte Ionen aus dem mit Plasma angefüllten Transportraum aufgebracht, oder die Ionen werden durch eine ge-



Aufbau von Plasmatrontypen mit unterschiedlicher Lichtbogenführung
direkte Plasmatrons
a) Kurzbogen
b) Langbogen
indirekte Plamatrons
c) Kurzbogen
1 Elektrode
2 Gasströmung
3 Lichtbogen (Hauptlichtbogen)
4 Pilotbogen (Zündlichtbogen)
5 Plasmastrahl
6 Vorwiderstand für den Pilotbogen



Schema einer HF-Zerstäubungseinrichtung
1 Target *3* Ringmagnet
2 Substrathalter *4* Anpassungsglied

sonderte Ionenquelle erzeugt und beschleunigt. Nach der Art der Plasmaerzeugung wird unterschieden:

1) Diodenzerstäubung
Hierbei wird das Target als Katode einer im stark anomalen Bereich arbeitenden Glimmentladung geschaltet. Wird dazu noch parallel zum elektrischen Feld ein Magnetfeld eingesetzt, so verringern sich die Diffusionsverluste der beteiligten Elektronen. Außerdem bewirkt das Magnetfeld eine Erhöhung der Stromdichte und damit eine Vergrößerung der Zerstäubungsrate. Man spricht in diesem Fall auch von *Hochratezerstäubung.*

2) Triodenzerstäubung
Dazu wird das Target in das Plasma einer Gleichstromhilfsentladung eingebettet. Dadurch wird das Target soweit negativ vorgespannt, daß die in der Randschicht beschleunigten Ionen eine genügend hohe Zerstäubungsrate abgeben.

Werden dem Arbeitsgas bestimmte Anteile an O_2, N_2 u.a. zugesetzt, so reagieren diese Gase mit dem Target und der Substratoberfläche zu chemischen Verbindungen. Diese Arbeitsweise wird als reaktive P. bezeichnet. Durch geeignete Prozeßführung kann man erreichen, daß die Reaktionsrate zugunsten der Substratoberfläche gerichtet wird. [447 bis 449]

s. PVD-Beschichtungsanlagen, Plasmaspritzen, CVP

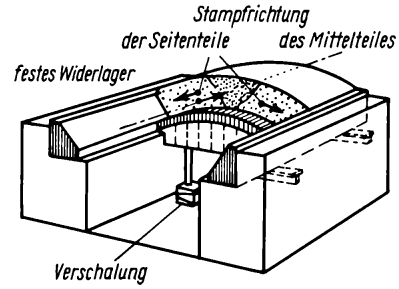
Plaster – *zusammenfassende Bezeichnung für alle Arten pyrogen entwässerten Rohgipses.* Man unterscheidet:

1) Halbhydratplaster (Stuckgips, Putzgips, Modellgips) und

2) wasserfreie P. (Estrichgips, Marmorgips).

s. Gips

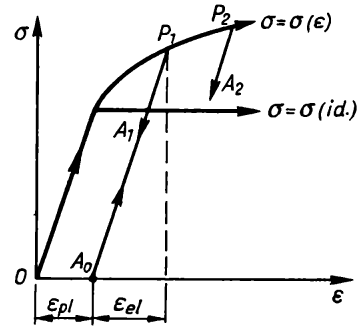
Plastics – *verarbeitungsfertige, bildsame ff. Massen, die bei Schnellreparaturen von Öfen und bei der Zustellung fugenarmer Wärmeanlagen (s. Bild) Verwendung finden.* P. bestehen im wesentlichen aus Ton und unbildsamen Magerungsmitteln (Schamotte, Schieferton, Korund, Silimanit, Chromerz u.a.), denen noch Wasserglas u.a. als Binder zugesetzt werden. Beim ersten Anheizen geht die ursprünglich chemische Bindung oberhalb 1000 °C in eine keramische über. P. werden in Kunststoffbehältern, Blechtrommeln u.a. angeliefert.



Zustellung eines Gewölbes mit Plastics

Plastizität (griech: plassein = formen) – *irreversible Formänderung von Festkörpern* durch Einwirkung äußerer deformierender Kräfte.* Während bei elastischer Formänderung die bestehende Anordnung von Atomen/Molekülen im Festkörper nicht geändert, sondern durch Verzerrung nur belastet ist, werden bei der plastischen Formänderung einzelne Bindungen aufgehoben und durch Platzwechselvorgänge* neue Bindungen aufgebaut. Auf kristallographisch ausgezeichneten Ebenen (Ebenen kleinster Trennenergie) laufen Fehlordnungen* (z.B. Stufenversetzungen) durch den Festkörper hindurch.

Nach *Prandtl* weist ein Spannungs-Formänderungs-Diagramm folgende Anteile aus (s. Bild).



Idealisiertes Spannungs-Formänderungs-Diagramm

Wird entlang dem Kurvenzug OP_1 belastet und längs P_1A_1 entlastet, so werden die Dehnungen ε_{el} und ε_{pl} beobachtet, d.h., die Gesamtdehnung setzt sich aus $\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$ zusammen. Bei neuerlicher Belastung folgt das Material bis P_1 der Linie A_0P_1 und darüber hinaus dem Kurvenzug P_1P_2, wie es auch ohne Zwischenentlastung der Fall gewesen wäre. Aus dem Diagramm lassen sich – vereinfacht – folgende Verhaltensweisen ableiten:

- ein ideal-plastischer Stoff fließt mit Erreichen der Fließgrenze σ_0 unter konstanter Fließspannung,
- bei einem sich elastisch-verfestigenden Stoff steigt mit Überschreiten der Fließgrenze σ_0 die Spannung mit wachsender Formänderung monoton an.

Spröde Stoffe (dazu zählen die keramischen Werkstoffe) zeigen makroskopisch keine plastischen Eigenschaften, sie zerbrechen bereits vor Erreichen der Fließgrenze.

Bei der Verformung mehrphasiger keramischer Arbeitsmassen werden ebenfalls irreversible Formänderungen erreicht, die dabei ablaufenden Prozesse sind jedoch völlig anderer Natur als bei der plastischen Verformung. Deshalb sollte für die Verformbarkeit keramischer Gemenge der Begriff Bildsamkeit* verwendet werden.

[4, 23, 62, 129, 159]

s. Elastizitätskonstante, Modelle, rheologische, Viskosität

Plättchen – ein abgewandelter Normalstein mit geringer Höhe (20 bis 55 mm).

Platte, enkaustische (griech.: en = hinein, kaustikos = brennend) – *aus Ton gefertigte Platte/ Fliese mit Muster aus andersfarbiger Tonmasse.* Diese P. wird in eingepreßte Einkerbungen eingelegt, so daß sich nach dem Brand bestimmte Ornamente bzw. Verzierungen ergeben.

Platzwechselvorgänge – *Abwandern eines Atoms/Ions von seinem regulären Platz im Gitter oder auch von seinem Zwischengitterplatz.*

Wiederholt sich der Platzwechsel desselben Teilchens mehrmals, so legt es dabei eine gewisse Wegstrecke zurück, d. h., es wandert durch das Kristallgitter hindurch. Diese Vorgänge können ihre Ursache in mechanischen Beanspruchungen des Körpers oder in einer Erhöhung der thermischen Energie haben. In jedem Fall erfordert der Platzwechsel die Überwindung von Potentialbarrieren und damit einen bestimmten Betrag an Aktivierungsenergie. P. laufen relativ leicht an Oberflächen, Korngrenzen sowie entlang von Versetzungslinien oder anderen Baufehlern ab, denn an diesen Stellen fehlt die sterische Behinderung (Verzögerung durch die Raumerfüllung von Atomen/Gruppen), die in ideal aufgebauten Kugelpackungen im Kristallinneren vorhanden ist. Die P. können nach verschiedenen Mechanismen ablaufen (s. Bilder):

1) direkter Austausch

In diesem Falle vertauschen beide Teilchen ihre Punktlagen im Gitter.

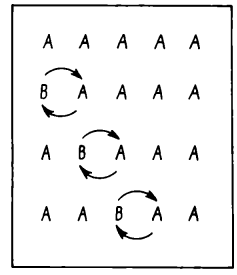
Das ist nur möglich, wenn beide Teilchen sich bewegen. Dieser Mechanismus ist in Substitutionsmischkristallen zu beobachten. Allgemein ist er energetisch nicht günstig *(Schottky-Mechanismus).*

2) Zwischengitterdiffusion

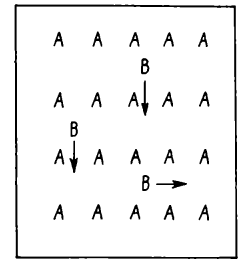
Das diffundierende Fremdatom B kann verschiedene Zwischengitterplätze einnehmen und so durch das Gitter hindurchwandern. Dieser Mechanismus ist mit einer starken Gitterverzerrung verbunden. Einfacher liegen die Verhältnisse in Einlagerungsmischkristallen. Bei diesen befinden sich kleinere Atome in den Lücken des Grundgitters auf Zwischengitterplätzen. Der Diffusionssprung stellt dann einen Austausch der Zwischengitteratome mit nur geringer Gitterverzerrung dar *(Frenkelscher Mechanismus).*

3) Platzwechsel im Defektgitter über Gitterlükken

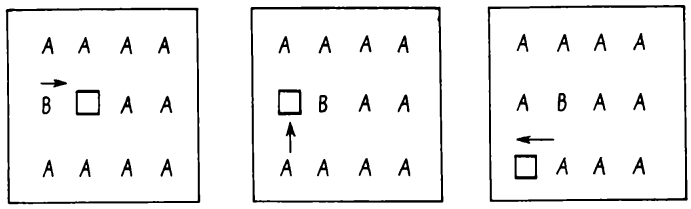
Bewegt sich das Atom B auf die danebenliegende Gitterlücke, so bildet sich an seiner Stelle eine Lücke aus. Diese wird von dem darunterliegenden A-Atom aufgefüllt usw. Dieser Mechanismus ist vom energetischen und geometrischen Standpunkt aus sehr günstig, da von der Aktivierungsenergie nur die Ablösearbeit der Bausteine aufgebracht werden muß, ohne daß eine Gitterverzer-



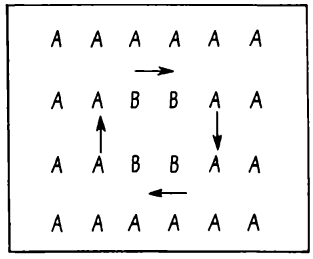
a)



b)



c)



d)

Platzwechselvorgänge
a) direkter Austausch
b) Zwischengitterdiffusion
c) Platzwechsel im Defektgitter über Gitterlücken
d) Ringdiffusion

rung notwendig ist. Zunächst erfolgen diese P. ungerichtet (*Wimmelbewegung* in der Art der *Brown*schen Molekularbewegung). Kommt eine treibende Kraft in Form eines chemischen Potentials hinzu, so wird diese Wimmelbewegung von einer *Driftbewegung* überlagert, die Teilchen wandern zielgerichtet *(Wagner-Schottky-Mechanismus).*

4) Ringdiffusion

An der Diffusion durch Ringsprünge sind gleichzeitig mehrere Atome beteiligt. Die damit verbundene Gitterverzerrung ist viel geringer als beim direkten Platzwechsel (wie unter 1), was auch eine geringe Aktivierungsenergie bedingt (Zener-Mechanismus).

s. Mischkristallbildung, Sinterung

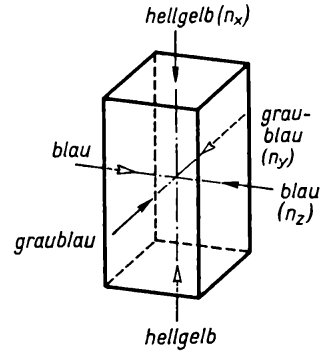
Pleochroismus (Vielfarbigkeit; griech.: pleon = mehr, chroma = Farbe) – *die Abhängigkeit der Lichtabsorption bei doppelbrechenden Kristallen von der Strahlungsrichtung und von der Schwingungsrichtung, d. h., die Färbung der Kristalle ist in verschiedenen Richtungen unterschiedlich* (s. Bild). Obwohl diese Erscheinung bei allen doppelbrechenden Kristallen zu erwarten ist, kann sie nur dort wahrgenommen werden, wo die Unterschiede in dem engen Spektralbereich liegen, für den unser Auge empfindlich ist. Im einzelnen gilt:

1) Optisch zweiachsige Kristalle haben 3 Hauptabsorptionskoeffizienten und weisen deshalb auch drei verschiedene Achsenfarben auf. Man nennt diese Erscheinung auch *Trichroismus.*

2) Optisch einachsige Kristalle haben 2 Hauptbrechungsindizes und zeigen deshalb auch zwei verschiedene Achsenfarben *(Dichroismus).*

3) Optisch isotrope Körper weisen keinen P. auf.

Pocken (Glüh-, Grieß-, Spritz-, Quarzpokken) – *blasige, stecknadelkopfgroße, fast stets geschlossene Aufwölbungen der Glasuroberfläche, die z. T. auf falsches Brennen zurückzuführen sind.* Wird die Temperatur zu schnell gesteigert, so fließt die Glasur bereits aus, ehe sämtliche Gase entweichen konnten. Die Glasur wird dann aufgetrieben oder durchbrochen. Pockige Scherben sind in ihrem ganzen Querschnitt blasig. *Luftpocken* entstehen bei oxydierender Atmosphäre und stellen größere, linsenförmige, z. T. aufgeplatzte Scherbenaufwöl-



Pleochroismus des Cordierits

bungen dar. Nach *I. Berger* bilden sich P., wenn der Temperaturanstieg in der letzten Glattbrandphase nach dem Dichtsintern hinreichend langsam geführt wird, u. a. bei solchen Erzeugnissen, die im Existenzbereich des Metakaolinits (550 bis 980 °C) einer reduzierenden Rauchgasatmosphäre ausgesetzt waren, ohne daß bis zum Dichtsintern eine Reduktionsunterbrechung eintrat. Sie können die Folge der unter Übergreifen von Schmelzreaktionen auf Kaolinitumwandlungsphasen einsetzenden Austreibung von Stickstoff, der an Metakaolingitter gebunden war, sein. Das bedeutet für die Praxis:

- Erhöhung der Verglühtemperatur über 980 °C,
- Reduktionsperiode erst oberhalb der Umwandlung von Metakaolinit in Spinell,
- bei früh einsetzender Reduktion die Austreibung des Stickstoffs durch eine oxydierende Übergangsperiode vor dem Dichtsintern des Scherbens.

***Poisson*-Zahl** – *s.* Elastizitätskonstante

Polarisation (griech.: polos = Endpunkt der Himmelsachse)

1) dielektrische P.

Wechselwirkungen eines elektrischen Feldes mit den Ionen/Molekülen eines Stoffes, wobei man zwischen Verschiebungspolarisation (Verschiebung der Elektronenhüllen und Atomkerne erzeugt ein Dipolmoment) und Orientierungspolarisation (Ausrichten der permanenten Dipolmomente im elektrischen Feld) unterscheidet.

2) elektrolytische P.

Hierbei wird eine Gegenspannung bei elektrolytischen Vorgängen ausgebildet.

3) P. des Lichtes

Im Gegensatz zum natürlichen Licht, bei dem die Schwingungen regellos und innerhalb meßbarer Zeiten alle möglichen Azimute durchlaufen, erfolgen beim polarisierten Licht die Schwingungen gerichtet. Im linear polarisierten Licht liegen die Schwingungen stets in ein und derselben Ebene mit der Fortpflanzungsrichtung; die Projektion der Schwingungen auf eine Normalebene ist eine Gerade.

Polarisationsfilter – *s.* Nicolsches Prisma

Polarisationsmikroskop – *Mikroskop, das vorwiegend zur Untersuchung anisotroper Stoffe mittels linear polarisierten Lichtes verwendet wird.* Unterschiede zum gewöhnlichen Mikroskop:

- vor dem Beleuchtungsapparat befindet sich ein Polarisator zur Erzeugung des polarisierten Lichtes,
- im Tubus ist hinter dem Objektiv ein zweiter Polarisator – Analysator genannt – eingesetzt: beide sind drehbar und können wahlweise in den Strahlengang des Mikroskopes ein- und ausgeschaltet werden,
- der Kondensor ist so konstruiert, daß er eine schnelle Veränderung der Beleuchtungsapertur erlaubt,
- im Tubus gibt es eine Öffnung zum Einschieben von Kompensatoren (z. B. Gips Rot I),
- der Objekttisch ist mit einer Gradeinteilung ausgestattet, außerdem können für bestimmte Untersuchungen Meßgeräte darauf befestigt werden, z. B. Integrationstisch, U-Tisch u. a.,
- die Linsensysteme dürfen keine anomale Spannungsdoppelbrechung zeigen.

Polarisationsmikroskopie – *Einsatz des Polarisationsmikroskopes zur Untersuchung anisotroper Objekte.* Man unterscheidet:

1) orthoskopische Betrachtung

Sie entspricht der mit Mikroskopen üblichen Betrachtungsweise, die Kristalle erscheinen in ihren Polarisationsfarben, deren Stärke und Charakter von den optischen Eigenschaften des betreffenden Kristalls abhängen;

2) konoskopische Betrachtung

Man benutzt dazu meist die *Amici-Bertrand*sche Linse, die die Interferenzerscheinungen in die Zwischenbildebene des Mikroskops verlegt. Die Achsenbilder werden sofort sichtbar. Oft empfiehlt es sich, auch das Okular herauszunehmen und direkt in die Brennebene zu schauen.

Moderne Mikroskope sind mit einer *Mikrofotoeinrichtung* versehen, die eine sofortige Dokumentation erlaubt.

Polarographie (griech.: polos = Endpunkt der Himmelsachse, graphein = schreiben) – *elektrochemisches qualitatives und quantitatives Analysenverfahren, bei dem an einer Quecksilbertropfelektrode der Diffusionsstrom in Abhängigkeit von der Spannung gemessen wird.* Dabei werden stufenförmige Stromkurven (s. Bild 1, S. 340) erhalten. Die Höhe der Stufen entspricht der Konzentration der ausgeschiedenen Ionen, und die Lage der Stufen charakterisiert die Art der Ionen.

Aus der Tropfelektrode tropft in Abständen von 2 bis 4 s reinstes Quecksilber. Auf diese Weise bildet sich immer wieder eine neue Oberfläche. Als

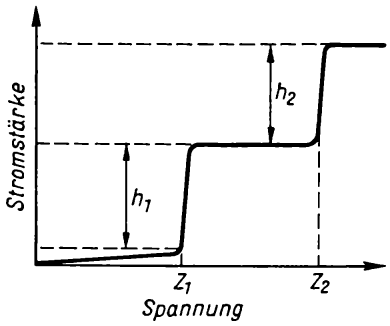


Bild 1. Polarographische Strom-Spannungs-Kurve
Z_1, Z_2 Zersetzungsspannungen zweier verschiedener Ionen
h_1, h_2 Stufenhöhen der zugehörigen Grenzströme

Anode fungiert das sich am Boden des Gefäßes befindende Quecksilber (s. Bild 2).

Die zu untersuchende Substanz wird in einer Grundlösung mit der etwa 100fachen Überschußmenge eines indifferenten Elektrolyten* (z. B. KCl) polarographiert. Zu Beginn fließt nur ein geringer Strom, der sog. Grundstrom, der vom kapazitiven Strom der elektrischen Doppelschicht* an der Katode und von Verunreinigungen herrührt. Mit steigender Spannung werden die Elektroden durch den Elektrolyten polarisiert, seine Kationen bilden an der Quecksilberoberfläche eine Schicht von positiven Ladungen aus, durch die die Feldstärke in der Lösung praktisch aufgehoben wird. Die Ionen, die abgeschieden werden können, scheiden sich aus der Oberflächenschicht aus und werden aus dem Inneren der Schicht durch Diffusion* nachgeliefert.

Mit Hilfe der P. lassen sich sehr geringe Ionenkonzentrationen (10^{-3} bis 10^{-6} molar) nachweisen, z. B. die toxischen Schwermetalle Pb, Cd aus Glasuren u. a.

Moderne Geräte arbeiten weitgehend automatisch. Neben dem Grundverfahren gibt es viele modifizierte Verfahren. [2, 99]

Polieren (lat.: politus = geglättet) – *Erzeugen einer glänzenden Oberfläche auf Werkstücken mit Hilfe sog. Poliermittel.*

Poliermittel umfassen
- lose oder gebundene Schleifmittel, wie Chromoxid, Korund-, Diamantpulver u. a.,
- Schleifmittelträger, wie Gußeisen, Kupfer, SnSb-Legierungen, Keramik, Holz, Filz u. a.; in einigen Fällen kann der sog. Schleifmittelträger selbst als Bearbeitungsmittel wirken, wie z. B. Pappelholz beim P. von Poliergolddekorationen,
- Polierflüssigkeiten, wie Leichtöl, Petroleum, Petroleum-Öl-Gemische oder Wasser.

Der für polierte Oberflächen typische Glanz tritt auf, wenn die Oberflächenunebenheiten kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes (<0,4 µm) sind. P. kann von Hand erfolgen, meist wird jedoch der Polierprozeß maschinell ausgeführt. Zwischen P. und Läppen* kann keine scharfe Grenze gezogen werden, lediglich ist beim P. der Anteil an plastischer Deformation in der Grenzschicht/Oberfläche des Werkstückes höher, während der Materialabtrag geringer ist.

Bei einer Reihe von Erzeugnissen der technischen Keramik, Biokeramik* u. a. Zweigen der Keramik werden z. T. sehr hohe Forderungen an die Oberflächengüte* gestellt, z. B. bei Hüftgelenkendoprothesen*, Ziehkonen u. a., die nur mit sog. Läppulvern bzw. -pasten mit Korngrößen <3 µm erzielt werden. Für deren wirtschaftlichen Einsatz ist die Einhaltung engster Toleranzen der Korngrößenverteilung erforderlich: Überkorn verursacht Kratzerbildung, und Unterkorn wird nicht wirksam.

Die Zugabe von Polierflüssigkeit muß so dosiert werden, daß die Polierscheibe nahezu trocken

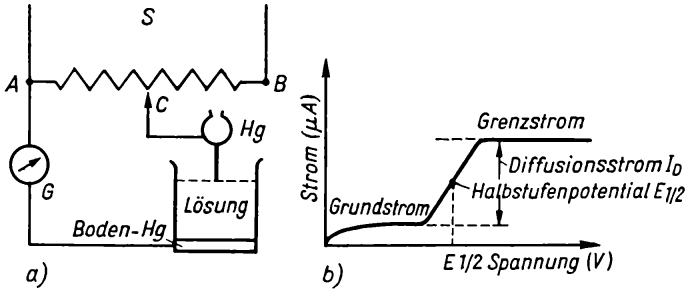


Bild 2
a) Prinzipschaltbild eines Polarographen
b) Strom-Spannungs-Kurve = Polarogramm

läuft, um zu gewährleisten, daß die feindispersen Korund- oder Diamantkörner im Eingriff stehen und das Werkstück nicht auf der Polierscheibe »schwimmt«. Für die beim P. zu erzielende Oberflächengüte gilt aus wirtschaftlichen Erwägungen der Grundsatz »so gut wie nötig« und nicht »so gut wie möglich«. Prinzipiell können, entsprechenden Aufwand vorausgesetzt, bei dichter Keramik Oberflächengüten von $R_a \leqq 0{,}01\ \mu m$ erzielt werden. [123]

s. Oberflächenrauheit

Poliergold – *ein dickflüssiges, schwarzes Edelmetallpräparat mit einem Goldgehalt von 10 bis 20% und darüber (meist 16⅔%).* Die Herstellung erfolgt so, daß reines Gold in Königswasser aufgelöst wird. Die erhaltene Goldchloridlösung wird reduziert, der Goldniederschlag geglüht und dann mit einem Fluß (etwa 10% eines Gemisches aus basischem Bismutnitrat und wasserfreiem Borax oder kleineren Mengen Bismutoxid) gemischt und später mit einem Malmittel (Terpentin-, Dicköl) malfertig gemacht. Um die Goldlage sehr dünn zu halten, wird meist (bis zu 50%) Quecksilberoxid beigemischt. Die Schichtdicke beträgt etwa 3 bis $6 \cdot 10^{-4}$ mm (drei- bis sechsmal dicker als bei Glanzgold). Aufgetragen wird mit Pinsel, Spritzpistole und Stempel. Als Malmittel kommen noch Benzol oder Lösungsöl in Frage, letzteres besteht im wesentlichen aus Benzol, Terpentin und Kolophonium. Die Einbrenntemperaturen liegen bei 750 bis 850 °C. Nach dem Dekorbrand ist ein Polieren erforderlich. Das geschieht mit Achatstift, Pappelholz, Glasfaserbürste oder -scheibe (unter Absaugung). Für seidigen Mattglanz wird auch sehr feiner Sand empfohlen. Das P. wird in verschiedenen Tönungen, vom reinen Rotgold über Gelb bis zum Gold mit Grünton, angeboten. Ersteres wird durch Zusätze von Platin, das Gelbliche durch Zusätze von Silber nuanciert.

Polierplatin – *ein Edelmetallpräparat,* das entweder aus reinem Platin oder zusätzlich noch aus anderen Platinmetallen und Gold besteht.

Poliersilber – *ein Edelmetallpräparat,* das ausschließlich oder vorwiegend aus Silber besteht (20 bis 70%, meist 56%) und bei 820 bis 860 °C eingebrannt wird. Da Silber zum Anlaufen neigt, gibt es auch Präparate mit Gold- und Platinzusatz. Für die Dekoration wird auch Neusilber (kein Silbergehalt) für Stahldruck und Stempel angeboten, das bei 700 °C (auf Farbfond etwas niedriger) eingebrannt wird. Neben der Verwendung für keramische Dekorationen werden Silberpräparate auch als Belag bei Kondensatoren und als Unterlagen für galvanische Verstärkungen benutzt.

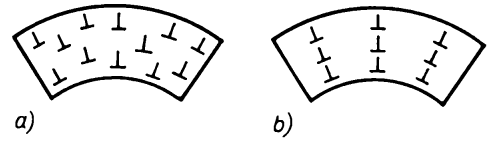
Politurware (Terralith) – *unglasierte keramische Erzeugnisse aus Töpferton,* deren Oberflächen im lederharten Zustand mit einem Leder geglättet, danach mit einem Modellierholz oder Stahl poliert wurden und nach dem Brand ein dichtes, glattes und glänzendes Aussehen zeigen.

polydispers (griech.: polys = viel; lat.: dispergere = zerteilen) – *Merkmal, das die Uneinheitlichkeit zerteilter Phasen beschreibt.*

Reale zerteilte Stoffe sind immer p., d.h., sie sind in bezug auf ihre Korngrößen mengenmäßig verteilt. Der Gegensatz zu p. ist monodispers.

Polyethylenoxid $(—CH_2—CH_2—O—)_n$ (Polyglykol) – *ein in Wasser nur teilweise lösliches Produkt, das je nach Polymerisationsgrad als viskose Flüssigkeit oder wachsartig vorliegt.* In der Keramik wird P. als Binder, als wasserlösliches Gleitöl für Naßpreßmassen sowie als Emulgator bei Trockenpreßmassen verwendet.

Polygonisation (griech.: polys = viel, gonia = Winkel, Ecke) – *Bildung von Versetzungswänden bzw. Korngrenzen aus gleichmäßig verteilten Versetzungen.* Beim Biegen eines Kristalls entsteht durch die Gitterkrümmung eine Vielzahl von Stufenversetzungen (s. Bild *a*). Zur Erniedrigung der Fehlordnungsenergie ordnen sich die Versetzungen durch Gleitbewegungen übereinanderstehend in Wänden an (s. Bild *b*).



Polygonisation eines gebogenen Kristalls
a) gebogener Kristall mit statistisch verteilten Versetzungen
b) Bildung von Polygonisationsgrenzen durch Gleitbewegungen der Versetzungen

s. Fehlordnungen, strukturelle, Kriechen

Polymorphie (griech.: polys = viel, morphe = Gestalt) – *Eigenschaft ein und desselben chemischen Stoffes, in zwei (dimorph), drei (trimorph) oder mehreren Modifikationen* aufzutreten.* Eine besondere Art von P. ist die Polytypie, d.h. Modifikationen, die sich durch verschiedene Übereinanderla-

gerungen unterscheiden, z.B. gilt das für Kaolinit, Dickit, Nakrit. [84]
s. Morphologie

Polyvinylalkohol (PVA) – *durch Spaltung von Polyvinylacetat gewonnenes weißes Pulver mit einer Dichte von 1,25 bis 1,35 g cm^{-3}, das gut in Wasser löslich ist.*
Verwendung: als organischer Binder, Klebe- und Hilfsmittel zur Verbesserung der Bildsamkeit in geringer Konzentration.

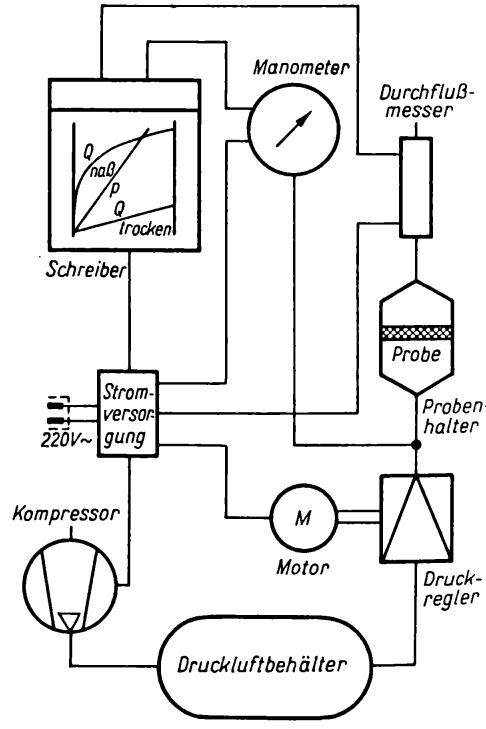
Poren – *winzige Öffnungen bzw. kleine Hohlräume im trockenen, geglühten oder auch gebrannten Scherben.* Sind die Hohlräume kohärent, spricht man vom *Porenkörper* oder Kapillarsystem. In der Keramik werden oft auch kleine Krater auf der glasierten Oberfläche von Porzellanstücken, die durch Luft- und Gaseinschlüsse hervorgerufen werden, als P. bezeichnet.
s. Porosität

Porenwasser – *der Teil des Anmachwassers, der die Hohlräume und Kanäle (Poren, Kapillaren) zwischen den Masseteilchen ausfüllt.* Das P. kann als physikalisch gebundenes Wasser betrachtet werden. Es beeinflußt stark die Trockenschwindung.
s. Schwindung

Porometer – *Gerät zur Messung der Gaspermeabilität* keramischer Werkstoffe und zur Ermittlung der Porengrößenverteilung.*
Ein von der Fa. Netzsch-Gerätebau/Selb entwickeltes P. erfaßt Kanalporen >1,2 µm und arbeitet nach dem Wasser-Luft-Verdrängungsverfahren (s. schematische Darstellung).
Das Meßprinzip beruht darauf, daß durch langsam ansteigenden Druck eine Luftströmung durch den porösen Probekörper erzeugt wird. Dabei wird der Luftdurchlaß in Abhängigkeit vom Druck registriert. Die Messung wird zunächst am trockenen Probekörper durchgeführt und dann an dem gleichen Körper wiederholt, nachdem dieser im Vakuum mit Wasser gesättigt wurde. Bei dem mit Wasser gesättigten Probekörper muß die Luft zuerst das Wasser aus den Porenkapillaren verdrängen, bevor ein Durchfluß einsetzt. Bei einem gleichmäßigen und langsamen Anstieg des Drukkes werden die weitesten Kapillaren zuerst geöffnet und dann der Reihe nach immer feinere. Der Durchfluß beginnt zuerst bei dem zur weitesten Kapillare gehörigen Druck und steigt mit wachsendem Druck bis zu dem zur engsten Kapillare gehörigen Druck stärker als linear an und von hier ab linear weiter, weil wieder die Durchströmbarkeit der trockenen Probe erreicht ist. Als Probekörper werden Scheiben von 50 mm Durchmesser und 10 bis 50 mm Dicke verwendet. [506]

Poroplast – *ein Polykondensationsharz,* dem durch zugegebene Füllmittel ein poröser Charakter verliehen wurde. Das Porenvolumen wird mit etwa 14 % angegeben (Gips 38 bis 40 %). Formen aus P. haben eine wesentlich bessere Festigkeit und Wärmebeständigkeit (bis zu 130 °C) als Gipsformen.

Porosimeter – *Gerät zur Erfassung der Porenverteilung und der Porengrößen poröser Materialien durch Einpressen von Flüssigkeiten in die Hohlräume.*
Die Messung beruht auf der vollständigen Bedekkung der Proben mit einer nichtbenetzenden Flüssigkeit in einem evakuierten Gefäß. Infolge kapillarer Depression (Oberflächenspannung*) wird dem Eindringen der Flüssigkeit in die Poren ein Widerstand entgegengesetzt, der durch äußeren



Porometer, schematische Darstellung

Druck überwunden werden kann. Im Gleichgewichtsfalle gilt nach *Washburn*:

$$r = -2\,\sigma \cos \vartheta / p\,k$$

r Porenradius (in nm)
σ Oberflächenspannung der Flüssigkeit (in mN m^{-1})
ϑ Benetzungswinkel
p Druck (in MPa)
k Proportionalitätskonstante.

Diese Beziehung gilt strenggenommen nur für zylindrische Poren, für kreisförmige Poren errechnet sich ein Formfaktor von $2/r$.
Unter Verwendung von Quecksilber ($\vartheta = 140°$; $\sigma = 480$ mN m^{-1}) als Penetrationsflüssigkeit und unter Annahme zylindrischer Poren ergibt sich nach *A. Guyer* für den praktischen Fall der Zusammenhang $r = 75\,000/p$.
Das vom technisch-chemischen Laboratorium der ETH Zürich entwickelte Quecksilberporosimeter arbeitet nach dem Prinzip, daß mittels einer Abtastnadel an einer metallischen Spindel, die mit dem Druckgefäß direkt verbunden ist, die Höhe der Quecksilbersäule in einem gläsernen Dilatometer, welches sich seinerseits in einem Druckkörper befindet, gemessen wird (s. Bild 1).

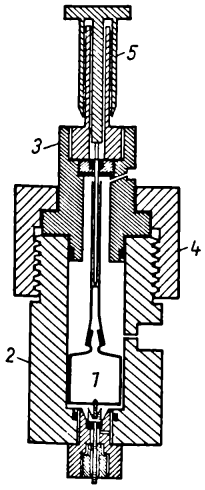


Bild 1. Schema der Meßeinrichtung
1 Dilatometer
2 Autoklav
3 Autoklavenkopf
4 Überwurfmutter
5 Kontaktstab

Die Abtastung des Quecksilberniveaus erfolgt auf elektrischem Wege, wobei ein elektronisches Relais, das nur auf metallischen Kontakt anspricht, verwendet wird. Das Schema der Apparatur zeigt Bild 2, S. 344.
Ein Synchronmotor, der mit dem Registriergerät parallel geschaltet ist, dirigiert den Antrieb der Abtastspindel des Druckgefäßes. Der Weg der Spindel kann demzufolge im Druckschreiber direkt abgelesen werden. Zur Übertragung des notwendigen Druckes auf das Quecksilber wird eine elektrisch nur schwach leitende Flüssigkeit (z. B. Alkohol) verwendet. Die Erzeugung des Druckes kann mechanisch oder hydraulisch erfolgen. Beim mechanischen System betätigt ein Elektromotor einen Kolben in einem Zylinder von etwa 15 cm^3; im hydraulischen System wird der Kolben durch einen Sekundärkolben (Übersetzungsverhältnis etwa 1:150) angetrieben. Die Fördergeschwindigkeit und damit die Geschwindigkeit des Druckanstieges kann durch Verstellen des Kolbenhubes in weiten Grenzen variiert werden.
Handelsübliche Apparaturen arbeiten mit Drükken von 0 bis 200 MPa, gestaffelt in Druckbereiche, die jeweils einer bestimmten Porengröße entsprechen, und erfassen Porenradien von 0,002 bis 10 µm.
Die Probenmenge beträgt etwa 0,5 bis 10 g. Aus den aufgezeichneten Diagrammen können Porenvolumen, Porengröße und -verteilung abgeleitet werden. [457]

Porosität – *mit bloßem Auge oder dem Mikroskop erkennbarer löcheriger, grobmaschiger Bau von Körpern und Stoffen, d. h. das Verhältnis von Hohlräumen und Masse bei der Erfüllung eines bestimmten Volumens.* P. gibt bei Rohstoffen und Erzeugnissen Auskunft über die Packungsdichte* der den Körper aufbauenden Teilchen bzw. Pulver. Im keramischen Labor unterscheidet man üblicherweise:
1) wahre P. (Gesamtporosität P_w)
Sie wird berechnet aus der (pyknometrischen) Dichte ϱ und der Rohdichte ϱ_R:

$$P_w = \varrho - \varrho_R/\varrho \cdot 100\,\%,$$

wobei die Rohdichte als Quotient aus der bei 110 °C ± 5 grd bis zur Massekonstanz getrockneten Masse und dem Volumen einschließlich Gesamtporenraum eines Körpers in g cm^{-3} definiert ist.
2) scheinbare P. (offene P. P_s)
Sie wird berechnet aus der Wasseraufnahme *WA* und der Rohdichte ϱ_R:

$$P_s = WA\,\varrho_R,$$

wobei die Wasseraufnahme als das Verhältnis der Masse der bei vollständiger Tränkung aufgenommenen Wassermenge eines Körpers zu der Masse

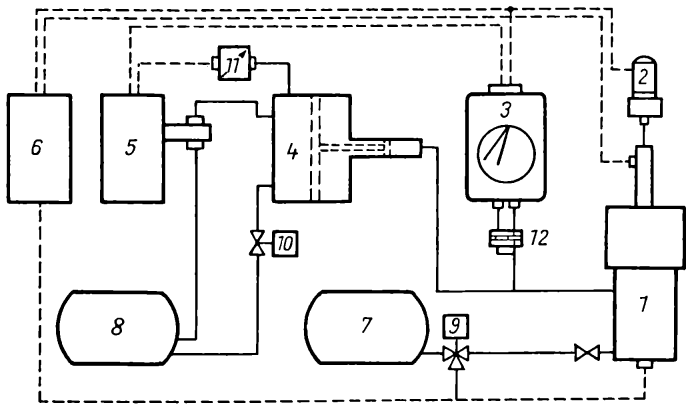


Bild 2. Schema der Apparatur
1 Druckgefäß
2 Motor für Abtastspindel
3 Druckschreiber
4 Druckerzeuger
5 Pumpe
6 Relais
7 Vorratstank für Alkohol
8 Vorratstank für Öl
9/10 Magnetische Ventile
11 Kontakt-Manometer
12 Automatisches Ventil

des bei 110 °C ± 5 grd bis zur Massekonstanz getrockneten Körpers, ausgedrückt in %, definiert ist. Die P. hat wesentlichen Einfluß auf alle Parameter der keramischen Werkstoffe; insbesondere werden der Korrosionswiderstand, das thermische und elektrische Verhalten und die mechanische Festigkeit beeinflußt. In bezug auf die mechanische Festigkeit gilt allgemein: größere Poren führen zu einer bruchbeeinflussenden Spannungsüberhöhung, isolierte Mikroporen tragen dagegen zur Steigerung der Festigkeit bei. [94, 458, 459]
s. Werkstoffe, keramische, umwandlungsverstärkte

Porphyr – zusammenfassende Bezeichnung für Ergußgesteine, die in einer dichten, feinkörnigen Grundmasse größere Kristalle als Einsprenglinge aufweisen (z. B. Granitporphyr, Quarzporphyr).

Portlandzement – *ein hydraulisches Bindemittel, das mit Wasser und Zuschlagstoffen zu einem steinartigen Körper erhärtet und teils mikrokristalline, teils gelartige Struktur aufweist.*
P. wird durch Feinmahlen von Portlandzementklinker erhalten. Portlandzementklinker bestehen aus hochbasischen Verbindungen von Kalk und Kieselsäure (Tricalciumsilicat, Dicalciumsilicat) und hochbasischen Verbindungen von Kalk mit Tonerde, Eisenoxid, Manganoxid sowie geringen Mengen Magnesia. Er wird hergestellt durch Brennen bis mindestens zur Sinterung der feingemahlenen und innig gemischten Rohstoffe. Das Abbinden des P. darf frühestens 1 h nach dem Anmachen beginnen; nach 28 Tagen erreicht er seine höchste Festigkeit. Unter geeigneten atmosphärischen Bedingungen (in Feuchtluftkammern) kann die Abbindezeit forciert werden. P. ist wesentlicher Bestandteil aller Betone und Mörtel; in der Keramik wird er verwendet z. B. beim Armieren von Langstäben sowie bei monolithischen hitzebeständigen Zustellungen* für Feuerungsanlagen. Bei letzteren ist zu beachten, daß P. unter thermischer Beanspruchung in einem bestimmten Temperaturbereich sein adsorbiertes und gebundenes Wasser verliert, damit verbunden ist etwa ab 300 °C bis etwa 1 100 °C eine Festigkeitsabnahme. Bei höheren Temperaturen steigt die Festigkeit jedoch wieder an und kann z. T. sehr hohe Werte erreichen. Der Kegelfallpunkt von P. sollte bei PK 150 liegen; dieser Wert wird jedoch nur von einem P. erreicht, der frei von allen Akzessorien – insbesondere von MgO und Fe_2O_3 – ist. [305]
s. Tonerdezemente

Porzellan – *tonkeramischer Werkstoff mit einem dichten, weißen, transparenten Scherben, versehen mit einem glasigen Überzug (Glasur).* Nach der Ausbrenntemperatur unterscheidet man:
- Hartporzellane mit einer Ausbrennhöhe von 1 350 bis 1 470 °C,
- Weichporzellane (mit höherem Flußmittelanteil) mit Ausbrennhöhen von 1 200 bis 1 320 °C.

Nach dem Verwendungszweck wird unterschieden: Geschirrporzellan, Zierporzellan, Elektroporzellan, chemisch-technisches Porzellan, Sanitärporzellan. Außerdem kennt man noch eine Reihe von Sonderporzellanen: Frittenporzellan mit einer alkalireichen Glasfritte an Stelle von Feldspat, Knochenporzellan mit einem Anteil von 20 bis 50 % Knochenasche, alkalifreie Porzellane (Alkalien <0,5 %) für Widerstandskörper, kochfeste Porzellane mit Zusätzen von reiner Tonerde.
Bereits im 9. Jh. wurden in China durchscheinende P. hergestellt. In Europa wurde es 1709 von

Johann Friedrich Böttger zusammen mit *Ehrenfried von Tschirnhaus* in Meißen erfunden. Obwohl das Geheimnis der Porzellanherstellung (das »Arkanum«) streng gehütet wurde, gelangten die Rezepte bald nach außen, so daß in der Folgezeit an verschiedenen Stellen Europas Porzellanmanufakturen entstanden.

Rohstoffe

a) bildsame Rohstoffe – Kaolin

b) nicht bildsame Rohstoffe – Quarz, Feldspat

Gelegentlich werden zur Herabsetzung der Brenntemperatur noch Kalk, Magnesit, Zinkoxid, Talk, Syenit herangezogen. Zur Verbesserung der Bildsamkeit und Erhöhung der Rohbruchfestigkeit werden Tone eingeführt, doch ist damit meist eine Verschlechterung der Transparenz und weißen Brennfarbe verbunden. Als Quarzkomponente verwendet man gewöhnlich Quarzsande und Pegmatite. Letztere enthalten außer Quarz noch Feldspat und tonige Anteile. Die Auswahl der Rohstoffe hat einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften der P.

Als sog. *Einheitsversatz* wird eine Zusammenstellung von 50 % Kaolin, 25 % Quarz und 25 % Feldspat angesehen; je nach beabsichtigter Eigenschaftsänderung kann die Zusammenstellung sowohl zugunsten des Kaolins als auch zugunsten des Quarzes oder Feldspates verändert werden. Einen Hinweis über die mit der Versatzzusammenstellung verbundenen Eigenschaftsänderungen (nach *G. Wiedemann*) gibt der Ausschnitt aus dem Dreistoffsystem Quarz – Kaolin – Feldspat (s. Bild 1). Durch Aufbereitung werden die eine Porzellanmasse aufbauenden Komponenten in einen solchen Feinheitsgrad überführt, daß die Masse weitgehend homogen erscheint. Dazu müssen die Hartstoffe gebrochen und so lange gemahlen werden, daß ihre wäßrige Suspension das Normsieb 0,09 (4 900 Maschen/cm²) passiert und auf dem Sieb 0,06 (10 000 Maschen/cm²) einen Rückstand von <3 % hinterläßt. Da Kaoline von Natur aus in feiner Form vorliegen, werden sie im allg. nicht mitgemahlen, sondern dem abgelassenen Mahlgut im Mischquirl zugemischt. Dieser Suspension wird anschließend der größte Teil des Wassers mittels Filterpressens, Saugzellenfilterns und in neuerer Zeit auch durch Sprühtrocknung entzogen, damit sie im nachfolgenden Formgebungsprozeß die erforderlichen Verarbeitungseigenschaften aufweist.

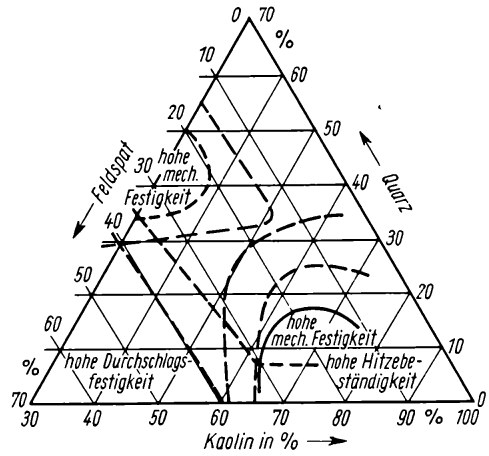


Bild 1. Ausschnitt aus dem Dreistoffsystem Quarz–Kaolin–Feldspat

Formgebung

Rotationssymmetrische Artikel werden gedreht, kunstkeramische Erzeugnisse vielfach noch von Hand, während Großserien über Roller, auch in Form von Taktstraßen und Fließreihen oder Kopiermaschinen maschinell über- und eingeformt bzw. geschält werden. Nichtrotationssymmetrische Artikel werden aus Gießmassen in Gips- oder Kunststofformen gegossen; langgestreckte Erzeugnisse, wie Rohre, durch Strangpressen erzeugt; kleinere Niederspannungserzeugnisse werden auch oft auf Pressen gequetscht. In Anlehnung an die spanabhebende Metallverarbeitung werden Stücke mit geringer Maßabweichung im völlig getrockneten Zustand in Drehmaschinen u. ä. weißbearbeitet. Sehr große Überwürfe (einige in Höhe) werden im lederharten Zustand zusammengarniert.

Trocknen und Glasieren

Das für die verschiedenen Formgebungsverfahren benötigte Wasser muß in einem Trockenprozeß entfernt werden; dabei unterscheidet man Hüllen-, Poren-, Adsorptionswasser. Da P. gewöhnlich mit einer Glasur versehen in den Handel kommen, müssen sie vor dem Brennprozeß entweder sofort nach dem Trocknen oder nach einem Schrühbrand (bei 800 bis 950 °C) glasiert werden. Man unterscheidet dabei:

- Schmelz- oder Muffelglasuren, bei denen ein Teil des Versatzes vorgefrittet ist. Sie werden auf den bereits gebrannten Scherben in einem zweiten Brand aufgeschmolzen.

- Scharffeuerglasuren, bei denen Garbrandperiode des Scherbens und Fließen der Glasur zusammenfallen. Die Aufbereitung der Glasur erfolgt ähnlich der einer Porzellanmasse, doch sind die Feinheitsforderungen viel höher (Rückstand auf dem Sieb der Maschenweite 40 µm < 1 %).

Brennen ist der wichtigste Produktionsabschnitt bei der Herstellung des P. Nach der Atmosphärenführung wird dabei unterschieden in:
- Aufheizperiode,
- Reinigungs- oder Oxydationsperiode,
- Scharffeuerperiode mit reduzierender Atmosphäre. Vorteile der reduzierenden Brennführung sind: breiteres Schmelzintervall vieler Silicate als bei oxydierender Brennführung und beabsichtigter Farbwechsel des gelblichen Fe^{III}-Silicates in das grünlich-bläuliche Fe^{II}-haltige Silicat, Verhindern von Aufkocherscheinungen durch Zerfall des 3wertigen Eisenoxids.

Prüffeld/Dekoration

Techkeramische P. werden abschließend verschiedenen mechanischen und elektrischen Prüfungen unterzogen und mit Armaturen versehen, während feinkeramischen P. mit den verschiedenen Mitteln der Dekoration ein ansprechendes Aussehen verliehen wird.

physikalisch-chemische Vorgänge beim Brennen von P.

Wesentliche Aussagen über Vorgänge gehen auf *H. W. Hennicke, O. Kröckel* und besonders auf *K. H. Schüller* zurück. Danach lassen sich die Vorgänge in drei Gruppen unterteilen:

a) Veränderungen, bei denen sich die Massekomponenten nicht gegenseitig beeinflussen; dazu zählen: Quarzumwandlungen, Austritt des chemisch gebundenen Wassers, der allmähliche Zerfall des Kaolinitgitters und die Bildung eines fehlgeordneten Al-Spinells bei etwa 950 °C, die thermische Dissoziation etwa vorhandener Carbonate und die Ablagerung von Kohlenstoff auf dem Scherben.

b) Gruppe der Schmelzvorgänge (Auflösungen und Neubildungen), sie umfaßt die Umbildung der Al-Spinellphase in Primärmullit (Schuppenmullit) unter Abscheidung von SiO_2, Schmelzvorgänge der Feldspäte und Korrosion des Primärmullits, Ausscheidung von idiomorphen Mullitnadeln (Sekundärmullit nach *Schüller*). Der resultierende Scherben enthält demnach im höheren Maße Sekundär- und weniger Primärmullit, Restquarz, Cristobalit, inhomogene Glasphase und Poren (s. Bilder 2 und 3).

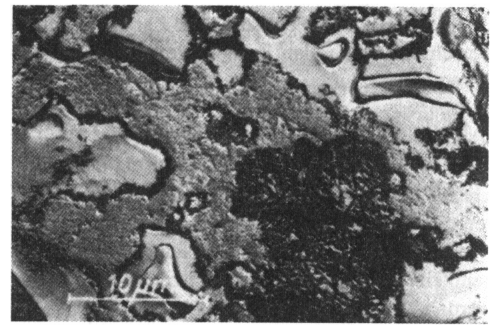


Bild 2. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Porzellans (50 % Kaolin, 25 % Feldspat, 25 % Quarz, Brenntemperatur 1 400 °C)
Zu erkennen sind die Phasen: Primär- und Sekundärmullit, Restquarz, Glasphase und Poren (Aufnahmen von Dr. *Bürger*, Hermsdorf)

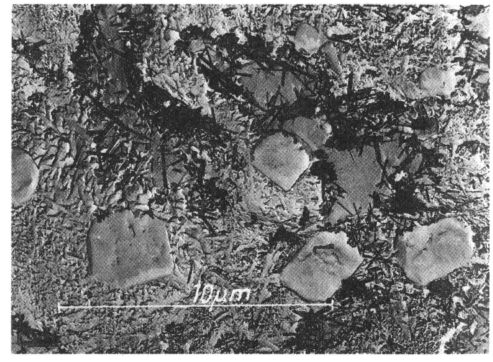


Bild 3. Elektronenmikroskopische Aufnahme von technischem Porzellan
Phasen: Glasphase, Primär- und Sekundärmullit, Leuzit (C–Pt-Abdruck einer geätzten Bruchfläche)

c) Vorgänge, die *a*) und *b*) überlagert sind. Der Zerfall des dreiwertigen Eisens im Temperaturbereich 1 250 bis 1 400 °C nach der Gleichung

$$6\,Fe_2O_3 \rightarrow 4\,Fe_3O_4 + O_2 \uparrow,$$

von den Feldspäten etwa mitgeführter Wasserdampf und Stickstoffverbindungen können Auftreibungen veranlassen.

[110, 133, 162, 185, 193, 460]

Porzellanmarken – *Buchstaben, Zeichen oder*

Symbole, oft mit Jahreszahlen versehen, zur Kennzeichnung der Herkunft des Gegenstandes, meist auf dem Boden (Unterseite) angebracht und auch meist unter der Glasur.

Porzellanspitze – *die bei Porzellanfiguren des Rokokostils, vorwiegend bei weiblichen Gestalten angebrachten Spitzenröcke u. ä.* Zu diesem Zweck wird Plauener Spitze mit präparierter Porzellanmasse (Dextrinzusatz) bestrichen, mit langer Nadel vom Tisch abgenommen und mit geschickter Handbewegung der jeweiligen Figur angelegt. Im Brand verbrennt die Spitze, die an ihr haftende Porzellanmasse bleibt als festes feines Spitzengewebe zurück.

Pottasche (K_2CO_3) – *weißes hygroskopisches Pulver;* $D = 2{,}30\ g\ cm^{-3}$; Verwendung als Flußmittel in gefritteter Form.

ppb (parts per billion = 10^{-9}) – aus dem englischen bzw. amerikanischen Schrifttum übernommene dimensionslose Verhältniszahl als Quotient zweier gleichartiger Größen wie $mm^3\ m^{-3}$ oder $mg\ t^{-1}$. Der Ausdruck wird häufig in Zusammenhang mit Spurenelementen als der billionste Teil gebraucht; 1 ppb = 10^{-7} Vol.-% bzw. 10^{-7} M % (engl. 1 Billion = 10^9; deutsch = 1 Milliarde).

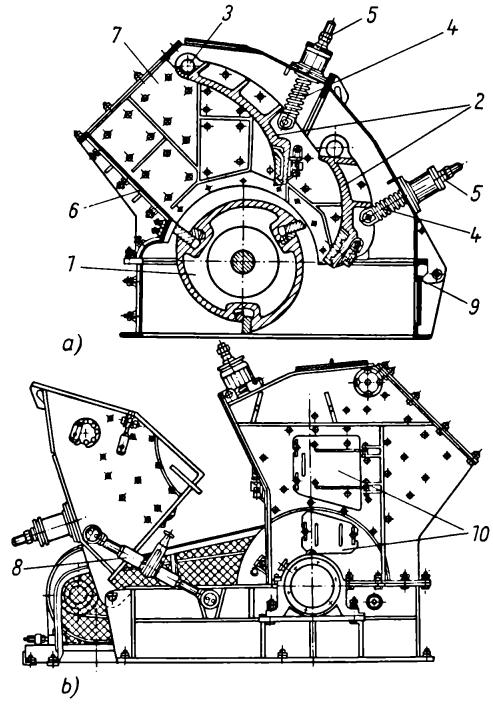
ppm (parts per million = 10^{-6}) – eine vom Quotienten zweier gleichartiger Größen abgeleitete und damit dimensionslose Verhältniszahl, z. B. $1\ cm^3\ m^{-3}$ bzw. $1\ mg\ kg^{-1}$.

Prallbrecher – *Zerkleinerungsmaschine, die mit ein oder zwei schnell umlaufenden Prallwalzen auf horizontaler Welle ausgerüstet ist* und zum Feinbrechen sowie Schroten harter bis mittelharter Stoffe mit natürlichen Spaltrissen oder inhomogenem Gefüge verwendet wird. Die Prall- oder Schlagwalzen mit ihren auswechselbaren Pralleisten beschleunigen das kontinuierlich zugeführte Brechgut und schleudern es durch den Prallraum gegen Prallelemente. Das zurückfallende Brechgut wird erneut erfaßt und gelangt vorzerkleinert in den Raum zwischen Walze und verstellbarer Prallplatte, wird dort nachzerkleinert und tritt mit hoher kinetischer Energie aus. P. haben einen hohen Zerkleinerungsgrad. (s. Bild) [330]

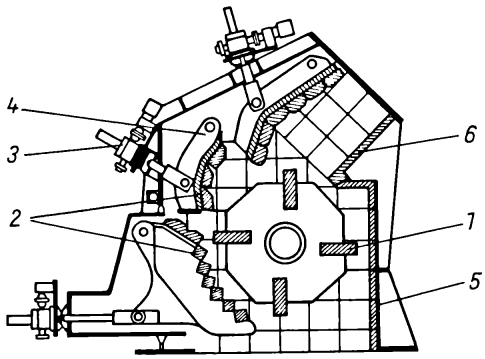
Prallmühle – *eine leichtere, aber mit größerer Geschwindigkeit arbeitende Bauart des Prallbrechers*.* P. sind mit leichteren Rotoren ausgerüstet und haben gegenüber Prallbrechern kleinere Prallräume (s. Bild S. 350) und werden zum Zerkleinern weicher, mittelharter und auch harter Stoffe bei Beanspruchungsgeschwindigkeiten von 50 bis $100\ m\ s^{-1}$ eingesetzt. [330]

Praseodymgelb ((Zr, Pr) SiO_4) – *zu den Wirtsgitterfarbkörpern* zählende keramische Farbe*,* die sich durch gute Farbstabilität und hohe chemische Resistenz auszeichnet.

P. wird durch Festkörperreaktionen* aus einem homogenen Gemisch von ZrO_2 und SiO_2 sowie Pr_6O_{11} als Dotierungsmittel und Alkaliverbindungen bzw. Fluoriden als Mineralisatoren* gewonnen. Aufgrund der annähernd gleich großen Ionen-



Einrotor-Prallbrecher
a) einteilige Bauweise
b) mehrteilige Bauweise
1 Schlagrotor mit Schlagleisten
2 Prallplatten als Schwinge (spiralförmig gekrümmt)
3 Prallplattenlagerung mittels Achse
4 Prallplattenabstützung mittels vorgespannter Federn
5 Spalteinstellvorrichtung
6 Einlaufschurre
7 Brechraumpanzerung
8 Arbeitszylinder zur Öffnung des Brechraumes und zum Ausschwenken des Gehäuses
9 Gehäuse
10 Kontrollöffnungen



Prallmühlen mit Schlagrotor und einer elektroakustischen Einrichtung für die Ferneinstellung des Spaltes [330]

1 Rotor mit Schlagleisten
2 Prallplatten
3 Schwingenabstützung mit Spindel zur Ferneinstellung des Spaltes
4 Schwingenaufhängung
5 Brechergehäuse mit Panzerung
6 Aufgabeschurre

radien von Zr^{4+} und Pr^{4+} wird angenommen, daß Pr^{4+} statistisch verteilt Gitterplätze der Zr^{4+} einnimmt.

Kristallographie: P. kristallisiert tetragonal

Habitus: quadratische Säulen mit pyramidalen Stirnflächen

[455]

s. Zirkon, Silicate

Praseodymoxide – *Verbindungen des Seltenerdemetalls Praseodym mit Sauerstoff.*

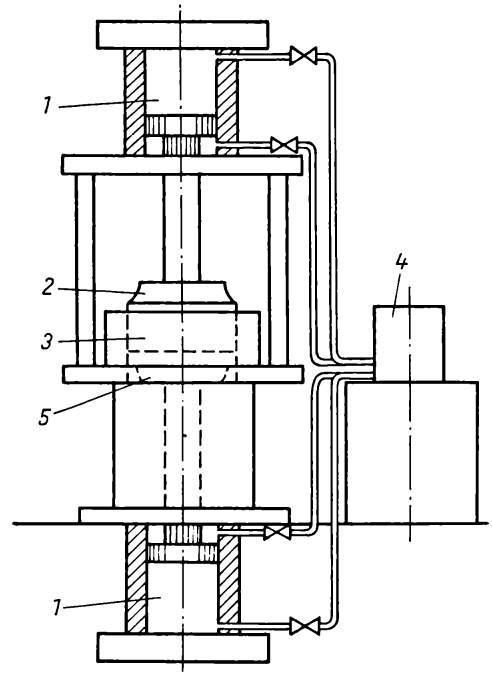
Praseodym(III)-oxid (Pr_2O_3) – gelbgrün; $D = 6{,}88\ g\ cm^{-3}$; dient zum Einfärben von Glas und Email, in der Porzellandekoration als Scharffeuerfarbe;

Praseodym(IV)-oxid (PrO_2) – braunschwarz; $D = 6{,}86\ g\ cm^{-3}$;

Hexapraseodymundekaoxid (Pr_6O_{11}) – schwarzbraun; löst sich in Säuren unter Reduktion zu Pr_2O_3. Es wird gewonnen durch Glühen von Praseodym(III)-oxalat $Pr_2(C_2O_4)_3 \cdot 10\,H_2O$.

Präzisionswaage – *Waage* zur labormäßigen Feststellung der Masse geringer Substanzmengen.* Im allgemeinen liegt die höchste Belastbarkeit von P. bei 200 g; für Substanzmengen <20 g werden sog. Mikrowaagen verwendet. Für Serienwägungen sind analytische Schnellwaagen im Gebrauch. Meßwerte zwischen 100 g und 10 mg werden mit Hilfe eingebauter, mechanisch aufzulegender Wägestücke bestimmt; Meßwerte werden elektrisch/elektronisch (z. B. über ein Magnetfeld) erfaßt.

Presse, hydraulische – *ein in der Keramik vorwiegend zum Trockenpressen* herangezogenes Aggregat, bei dem der Preßdruck über ein Hydrauliksystem erzeugt und gesteuert wird.* Die Drucksteigerung erfolgt allmählich, dadurch arbeiten diese Pressen langsam und weich (s. Prinzipskizze). Die



Prinzip einer hydraulischen Presse

1 Druckzylinder
2 oberer Stempel
3 Formkasten
4 Öldruckpumpe
5 unterer Stempel

erreichbare Preßkraft geht bis zu 20 MN. H. P. sind meist so konstruiert, daß der Druck doppelseitig ausgeübt wird. Das Füllen der Matrize wird durch eine Automatik besorgt. Das Auswerfen des Preßlings erfolgt durch den Unterstempel, sobald der Oberstempel in seine Ausgangsstellung zurückgefahren ist.

Die auf h. P. hergestellten Artikel weisen in der Regel eine gute Maßhaltigkeit auf. Durch den doppelseitigen Druck sind sie gleichmäßig durchgepreßt und meist rissefrei. Nachteile der h. P. sind ihre langsame Arbeitsweise und die wartungs-

intensiven Hydraulikpumpen. H. P. werden in der Feuerfestindustrie und Grobkeramik für großformatige Erzeugnisse, in der Elektrokeramik zum Pressen komplizierter kleiner Artikel herangezogen. [39]

Pressen, isostatisches (griech.: isos = gleich, statos = gestellt) – *eine Preßformgebung, bei der der Druck allseitig gleichförmig auf das zu formende Material einwirkt.*

Die zahlreichen modifizierten Lösungen des i. P. lassen sich ordnen

- nach der verwendeten elastomeren Form:
  - *Naßmatrizenverfahren*
    Die flexible Form wird außerhalb des Rezipienten gefüllt, dicht verschlossen und während des Preßvorgangs allseitig vom Druckmedium umgeben. Nach diesem Verfahren werden vorwiegend Großstücke, wie Hubel und Langstäbe, großformatige Feuerfeststeine, hergestellt (s. Bild 1).

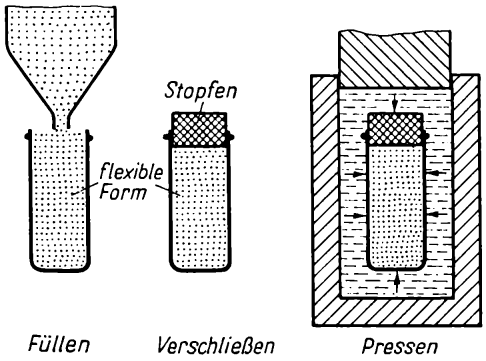


Bild 1. Naßmatrizenverfahren

  - *Trockenmatrizenverfahren*
    Die flexible Formhülle ist fest mit dem Rezipienten verbunden; das Druckmedium bleibt zwischen Rezipienten und Außenseite der flexiblen Form eingeschlossen. Durch Schließen des Stempels erhält man ein geschlossenes System. Nach diesem Verfahren werden vorwiegend Massenartikel, wie Kugeln, Zündkerzenisolierteile u. a., gefertigt (s. Bild 2).
- nach dem Druckmedium (Flüssigkeiten, Gase und Elastomerwerkstoffe)
- nach der angewandten Arbeitstemperatur:
  - Kaltpressen bei Raumtemperatur

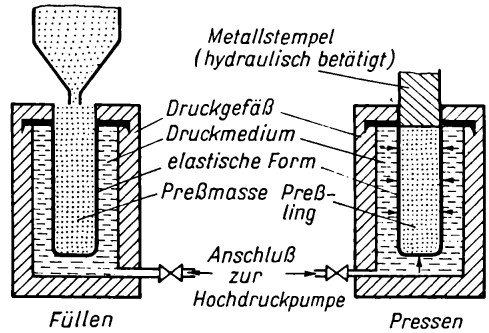


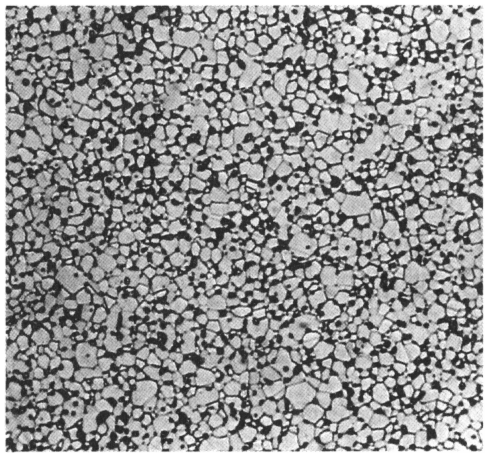
Bild 2. Trockenmatrizenverfahren

  - Warmpressen bei Temperaturen von 80 bis 500 °C
  - Heißpressen* bei Temperaturen von 500 bis 1 800 °C (s. Bild 3 S. 352).

Eine Sonderform stellt das quasiisostatische P. dar. Hierbei wird anstelle von Hydraulikflüssigkeit ein Kunststoff verwendet, der unter Druck eine Sol-Gel-Umwandlung erfährt. Dabei vereint der Kunststoff die Funktion der Hydraulikflüssigkeit und der flexiblen Hülle. Dieses Verfahren wird vorwiegend in der Feinkeramik zur Herstellung von Massenartikeln, wie Tellern, Schüsseln u. a., herangezogen.

Zum i. P. werden gut rieselfähige Arbeitsmassen mit einem Feuchtegehalt <3 % eingesetzt (ähnlich dem Trockenpressen). Bei Preßdrücken von 100 bis 200 MPa werden bei Quarz- und tonerdereichen Massen Raumfüllungsgrade von 65 bis 75 % der theoretischen Dichte* erhalten; die Trockenbruchfestigkeit dieser Artikel ist >2 MPa. Da während der Verdichtung die in der Arbeitsmasse enthaltene Luft nur in die Poren ausweichen kann, wird sie mit verdichtet. Übersteigt der in den Poren aufgebaute Luftdruck die Gefügefestigkeit der Formlinge, kann es bei Druckentlastung zur Rißbildung bzw. Zerstörung der Formlinge kommen. Der Aufbau eines erhöhten Porenluftdruckes kann vermindert bzw. vermieden werden durch:

- Verminderung der Feuchtigkeit der Arbeitsmasse,
- Erhöhung der Schüttdichte in der Form durch Granulatverdichtung, Einrütteln bzw. optimale Korngrößenverteilung,
- Evakuierung der gefüllten Formenhülle als wirksamste, aber auch aufwendigste Maßnahme.



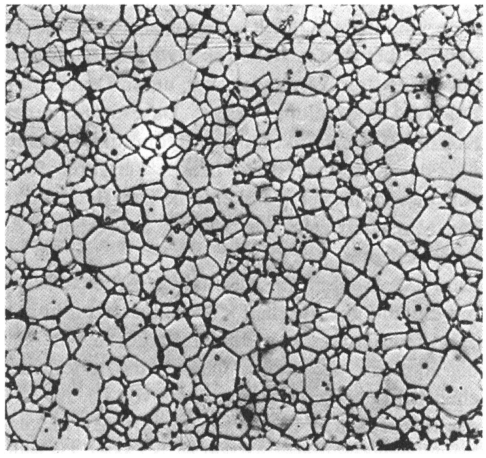


Bild 3. Einfluß des Heißpressens (HIP)* bei NiZn-Ferrit auf das Gefüge (V: 600:1)
a) NiZn-Ferrit zwischengesintert
b) NiZn-Ferrit nach dem Heißpressen, deutliche Kornvergrößerung, nur noch Einzelporen im Kristall

Ein spezifisches Phänomen isostatisch geformter Preßlinge ist eine elastische Rückdehnung* nach der Dekompression.

Anlagen zum i. P. werden im wesentlichen durch sechs Baugruppen gekennzeichnet :

- Druckerzeugungseinheit oder Pumpsystem,
- Rezipient mit Abschlußdeckel bzw. Verschlußeinrichtung,
- Dekompressionselement,
- Speicher für Druckmedium,
- Arbeitsmittel zur Herstellung des Preßlings,
- Steuer- und Überwachungseinrichtungen (s. Bild 4).

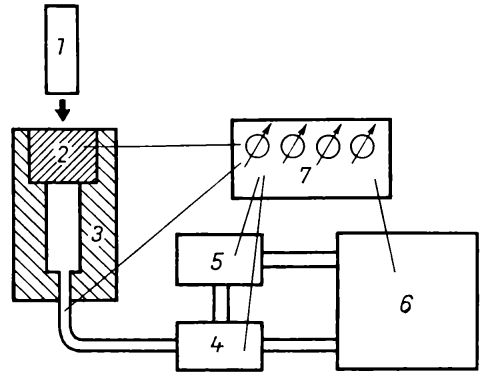


Bild 4. Schema für die Baugruppen einer isostatischen Presse
1 Preßling
2 Verschluß
3 Rezipient
4 Druckerzeuger
5 Dekompression
6 Speicher für Druckflüssigkeit
7 Überwachungseinrichtung

[39, 111, 334, 462]

Pressen, keramisches – *Formgebung, bei der unter Anwendung von Druck ein Zusammenhalt zwischen Stoffteilchen erzwungen wird;* dabei kommt es zum Einsturz von Hohlräumen zwischen den Teilchen sowie zum Verformen und Verhaken der Teilchen untereinander.

Auf die Oberfläche des Verarbeitungsgutes übt ein kraftübertragendes Arbeitsorgan einen Druck aus, unter dem sich die Teilchen soweit nähern, daß Adhäsions- und Kohäsionskräfte wirksam werden. Als Arbeitsorgan sind Preßstempel, Schnecken, Walzen oder Flüssigkeiten (s. Pressen, isostatisches) üblich. Das Verdichten kann in geschlossenen oder einseitig offenen Räumen erfolgen. Bei einseitig offenen Räumen muß die erforderliche Reaktionskraft durch die Teilchen-Wand-Reibung erzeugt werden.

Bei geschlossenen Verdichtungsräumen (Matrizen) läuft der gesamte Preßzyklus in den Phasen Füllen – Vorpressen – Entlüften – Hauptpressen – Ausstoßen ab (s. Bild 1).

Für die Erzeugung qualitätsgerechter Preßlinge ist eine gleichmäßige Verteilung der Preßmasse* über den gesamten Formenquerschnitt und eine weitgehende Entlüftung erforderlich.

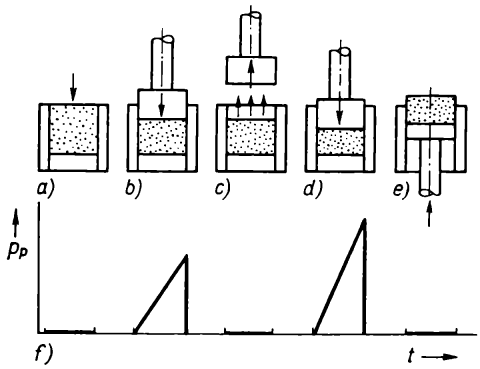


Bild 1. Preßvorgang
a) Füllen
b) Vorpressen
c) Entlüften
d) Pressen
e) Ausstoßen
f) Preßdruck-Zeit-Diagramm

Zur Auslegung und Steuerung von Preßprozessen mit geschlossenen Verdichtungsräumen sind folgende Größen maßgebend:
- die Stoffkenngrößen zur Kennzeichnung des granulometrischen Zustandes der Preßmasse wie Siebdurchgänge, Feuchtigkeitsgehalt,
- die Arbeitsorgankenngrößen Grundfläche des Preßstempels und Preßdruck,
- die Prozeßparameter Preßgeschwindigkeit, Preßzeit und Preßweg.

Zwischen diesen Größen bestehen bestimmte Zusammenhänge, wobei die Beziehungen Preßdruck – Preßzeit – Preßlingsfestigkeit die größte Bedeutung haben.

Die Kennlinie für die Abhängigkeit des Preßdruckes vom Preßweg hat einen hyperbolischen Verlauf (s. Bild 2); die entsprechende Kennfunktion lautet:

$$p_p = \cosh c\, s_p$$

p_p Preßdruck
s_p Preßweg
c Maßstabkonstante.

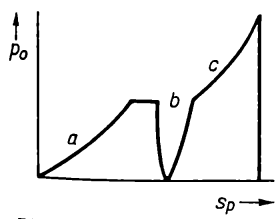


Bild 2. Beziehung zwischen Preßdruck und Preßweg
a) Vorpressen
b) Entlüften
c) Pressen (Hauptpreßdruck)

Die Maßstabkonstante c wird gewöhnlich aus den maximalen Zuordnungen bestimmt:

$$c = \operatorname{arcosh} p_{p\,max}/s_{p\,max}$$

Zum Herstellen der verschiedensten keramischen Erzeugnisse im Trocken- und Naßmatrizenverfahren dienen Friktionsspindel-, Kniehebel-, Kniehebelverbund-, Kurbel-, Drehtisch-, hydraulische u.a. Pressen. Der Formgebungsteil besteht im allg. aus dem festgelagerten Formenrahmen oder Mantel, aus dem auf- und niedergehenden Oberstempel (Oberform, Preßstempel) und dem Unterstempel. Beide können beheizt werden. Im Spezialfall kann auch noch ein Magnetfeld aufgebaut werden, z.B. bei vorzugsorientierten Ferriten*. Die P. können fahrbar und ortsfest sein, gleichzeitig eine oder mehrere Formen haben, ein- und zweiteilige, konische und zylindrische, einfache und komplizierte Gegenstände (vom Blumentopf bis zum Isolator und Sterngriff) herstellen, trockene und feuchte Massen (bis über 12 % Feuchte) verarbeiten. Es gibt Spezialpressen mit Preßkräften bis zu 20 MN. Die P. können je nach Gegebenheit durch vollmechanisch arbeitende Entgratungsvorrichtungen und angeschlossene Stapelgeräte ergänzt werden. [39, 426]

Preßkopf – *Teil der Schneckenpresse zwischen dem Ende des Preßzylinders und dem Mundstück.* Er dient der Formgebung, der Vergleichmäßigung der Förderströmung, dem Schließen innerer Oberflächen im Förderstrom, die durch die Schnecke oder durch Kernhalterungen u.a. entstanden sind. Das Verhältnis der Preßkopflänge zum Preßzylinderdurchmesser beträgt bei Porzellanstrangpressen etwa 4:1, bei Ziegelstrangpressen bis 0,4:1. Mit zunehmender Preßkopflänge steigt die aufzuwendende Antriebsleistung bzw. sinkt die Strangaustrittsgeschwindigkeit.

Preßluftspaten – ein durch Preßluft schlagartig hin und her bewegter Spaten zum Abbau fetter und zäher Tone.

Preßmassen – *gut rieselfähige, körnige bzw. krümelige Arbeitsmassen, die sich unter Druck verdichten und bleibend verformen lassen.* Die Herstellung von P. kann grundsätzlich nach zwei verschiedenen Verfahren vorgenommen werden:
- Sprühtrocknung* eines Schlickers zu einem preßfähigen Granulat,
- Vorpressen einer aufbereiteten Masse, Zerdrükken des Briketts, Klassieren unter Abtrennen

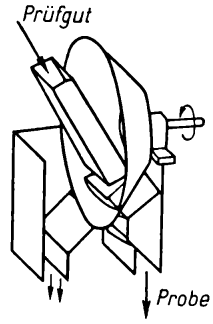
des Staubes und Mischen mit sog. Preßhilfsmitteln (Wasser, Olein, Preßöl, Oxidstearin, Petroleum, PVA, Zellin u. a.).

An P. werden folgende Forderungen gestellt:
- Die Granulatgröße soll sich in einem Bereich von 0,1 bis 2 mm bewegen (für technische Keramik).
- Der Wassergehalt soll <6 % beim Trockenpressen und etwa 12 bis 16 % beim Naßpressen betragen.
- Gute Rieselfähigkeit soll ein schnelles und gleichmäßiges Füllen der Formen ermöglichen.
- Die Festigkeit des Granulats bzw. des Sekundärkorns* soll bis zum Preßvorgang gewährleistet sein; beim Pressen soll sich das Granulat zerdrücken lassen. [14, 111]

Preßöl – *Zusatz zu keramischen Massen, um das Gleiten in die Preßformen zu erleichtern.* Es handelt sich bei P. um Maschinenöl nicht genau definierter Zusammensetzung. Für Preßmassen sollte es mindestens 8 % Olein enthalten.

Primärkorn (lat.: primus = der erste)
1) Ein durch Kristallisation* bzw. chemische Fällung oder durch Kondensation entstandener Monokristall im Gegensatz zu Kristallaggregaten, dem sog. Secundärkorn*.
2) Das in eine keramische Masse eingeführte Korn definierter Größe (als kleinste Einheit des Gefüges*) im Gegensatz zu Granulat* als Sekundärkorn

Probenahme – *Entnahme einer Teilmenge aus einem Stoffsystem, dessen Eigenschaften analysiert werden sollen,* da eine Prüfung der Gesamtmenge praktisch unmöglich und auch nicht sinnvoll ist. Die P. muß so durchgeführt werden, daß die zur Analyse gelangende Probe repräsentativ ist. Die für eine Durchschnittsprobe zu entnehmende Probemenge richtet sich nach Körnungsaufbau, Inhomogenität und Menge des zu prüfenden Gutes. Falls in dem Stoffsystem eine Entmischung vorliegt oder angenommen werden muß, ist das Probegut in Form von Einzelproben, die über das gesamte Stoffsystem bzw. über die Länge des Förderstromes verteilt sind, zu entnehmen. Für die richtige Entnahme sind verschiedene Vorrichtungen entwickelt worden. Für die Beprobung von Förderströmen hat sich z. B. das im Bild dargestellte Probeentnahmegerät bewährt (s. Bild).



Probeentnahmegerät mit rotierendem Kegelstumpf

Einzelproben werden gewöhnlich zu einer Sammelprobe vereinigt, die dann nochmals gemischt und geteilt wird. Für diese Maßnahme existieren spezielle Probenteiler. [15]

Promotor (synergetischer Verstärker; lat.: pro = vor, movere = bewegen) – Stoffe, die durch ihre Anwesenheit die katalytische Wirksamkeit von Trägerkatalysatoren (poröse Stoffe, die mit der katalytisch aktiven Substanz getränkt wurden) noch verstärken.

***Proof*-Test** – *mechanische Stückprüfung an keramischen Erzeugnissen* mit dem Ziel der Sicherung einer bestimmten Mindestlebensdauer.
s. Dauerfestigkeit, *Weibull*-Theorie, Spannungsintensitätsfaktor.

Protoenstatit ($Mg_2[Si_2O_6]$; griech.: protos = erster, enstates = Gegner; im Sinne von schwer schmelzbar vor dem Lötrohr) – orthorhombisch; $D = 3{,}1\ g\ cm^{-3}$; optische Daten gleichen denen des Enstatits. P. ist Bestandteil des Steatitscherbens. Seine Umwandlung in Klinoenstatit wird durch Glasphase verhindert.
s. Lagerporosität, System $MgO\text{-}SiO_2$

Prüfspannungen – *in der Hochspannungstechnik gebräuchlicher Begriff für eine Anzahl von elektrischen Prüfungen.* Folgende Formen werden dabei unterschieden:
- Prüfgleichspannung mit festgelegtem Grenzwert für zulässige Überlagerung mit pulsierender Spannung,
- Prüfwechselspannung mit festgelegter Frequenz,
- Prüfimpulsspannung mit festgelegtem Verlauf und Grenzwert für zulässige Überlagerung zur Nachbildung der Beanspruchung bei flüchtigen Überspannungen in Netzen der Energieversorgung; sie wird unterteilt in:
  - Prüfblitzspannung (früher Stoßspannung) mit aperiodisch verlaufendem Spannungsimpuls

zur Nachbildung der Überspannung durch Blitzeinwirkung und
- Prüfschaltspannung als gedämpft schwingender Spannungsimpuls zur Nachbildung von Überspannungen durch Schalthandlungen,

- Stehspannung – ein Prüfspannungswert, dem ein Isolator noch ohne Durchschlag* standzuhalten vermag,
- Nennstehspannung – ein Prüfspannungswert, dem ein Isolator standhalten muß.

pseudomorph (griech.: pseudein = falsch) – *in einer anderen Form kristallisierend, als dem chemischen Stoff entsprechend.*

Bei Verwachsungen von Kristallen verschiedener Natur (s. Epitaxie) wird oft die Erscheinung beobachtet, daß die Atomabstände in bestimmten Gitterrichtungen vom aufwachsenden Kristall (Gastgitter) elastisch verzerrt sind, um die Kohärenz der Phasengrenzflächen zum Wirtsgitter zu gewährleisten. Gelegentlich werden auch Stoffe veranlaßt, eine unter normalen Bedingungen entstehende Struktur zu verlassen und ein für die Anpassung günstigeres Gitter anzunehmen.

Pseudowollastonit (α-$CaSiO_3$; griech.: pseudein = falsch, *Wollaston* = Eigenname eines Chemikers)

Kristallographie: pseudohexagonal (monoklin); Hochform des Wollastonit

Physikalische Eigenschaften: farblos; $H = 5$; $D = 2{,}9\ g\ cm^{-3}$; $n_\alpha = 1{,}610$, $1{,}615$, $n_\beta = 1{,}611$, $n_\gamma = 1{,}654$, $1{,}636$, $\Delta n = +0{,}044$, $+0{,}021$; $2V \approx 7°$.

PTC-Keramik – *s.* Kaltleiter

Pudergold – *ein trockenes pulverförmiges Goldpräparat mit hohem Goldgehalt (25 bis 99 %) und geringem Anteil an Silber und Flußmitteln (aber auch 100%ig und frei von keramischem Fluß).* Es dient zum Einpudern von Lackstempeln u. a. und ergibt nach dem Brennen eine Mattvergoldung, die dann poliert wird (s. Poliergold). Die Einbrenntemperatur liegt bei 800 bis 850 °C. Bei den Schiebebildern liegt der Goldanteil des Bildes als P. vor.

Pulver (lat.: pulvis = Staub) – *durch Zermahlen, Zerstoßen, Zerreiben, Zerstäuben oder durch Kristallisation** (Ausfällen aus Lösungen, Kondensation u. a.) *erhaltenes, polydisperses*, feinklastisches Körnerhaufwerk.*

Allgemein enthält der Begriff P. keine Aussage über:
- die Natur des Stoffes, d. h., sie kann anorganisch oder organisch sein,
- die Struktur des Stoffes, d. h., sie kann kristallin oder amorph sein,
- den Dispersionsgrad, wobei üblicherweise als P. nur Körnerhaufwerke mit Korngrößen <100 µm bezeichnet werden.

Im engeren keramischen Sinne verwendet man den Begriff P. für aufbereitete Rohstoffe bzw. Massen, deren Eigenschaften die nachfolgenden Prozeßschritte wesentlich bestimmen. [111, 397]

Pulvermetallurgie (Metallkeramik) – *ein Industriezweig, der auf der Basis von Metallpulvern nach keramischer Technologie Werkstoffe, Halbzeuge und Fertigfabrikate erzeugt.* P. umfaßt die Verfahrensabschnitte:
- *Gewinnung der Metallpulver* (mechanisches Zerkleinern, Zerstäuben, Reduktion von Oxidpulvern, Ausfällen aus Lösungen u. a.),
- *Formgebung* (Pressen, Schlickergießen),
- *Sinterung* (in Schutzgasen, Vakuum, vorwiegend in elektrisch beheizten Öfen),
- *Nachbearbeiten* (Walzen, Schleifen, Oberflächenveredlung u. a.).

Die P. weist gegenüber der traditionellen Schmelzmetallurgie u. a. folgende *Vorteile* auf:
- die benötigten Pulver fallen oft unmittelbar an oder können aus Abfällen gewonnen werden,
- das Sintern unterhalb der Schmelztemperatur verhindert Reaktionen, die zur Schlackenbildung führen,
- Herstellung von Verbundstoffen aus Komponenten, die sich im flüssigen Zustand nicht mischen,
- Tränklegierung – Herstellung von Skelettkörpern (z. B. Wolfram), deren Poren mit einer Schmelzkomponente (z. B. Kupfer) ausgefüllt werden,
- Kombinationen von Metallen und Nichtmetallen sind möglich,
- 100%ige Ausnutzung der Werkstoffe – keine Abfälle durch Steiger, Ausgüsse usw.
- Maßhaltigkeit der Fertigteile.

Folgende *Nachteile* mindern die Wirtschaftlichkeit:
- porenfreie Werkstücke sind nur durch Heißpressen oder nachträgliches Tränken möglich,
- Formen mit einspringenden Kanten sind nur unter schwierigen Bedingungen herstellbar,
- der Betrieb der Sinteröfen und die Anwendung von Schutzgas und Vakuum sind kostspielig.

Nach pulvermetallurgischen Verfahren werden außer zahlreichen preiswerten Massenartikeln noch

Hartstoffe, Kontaktstoffe und viele Arten von Pseudolegierungen hergestellt.

Pumpmischer – *Gerät zum Naßtorkretieren* von Gieß- bzw. Reparaturmassen in Feuerungsanlagen.* P. arbeiten nach dem Zwangsmischerprinzip (s. Mischer).

Über einen Einfülltrichter wird das Trockenmaterial in einen Kessel bei gleichzeitiger vorgewählter Wasserzugabe gefüllt. Nach Beendigung des Mischvorgangs wird die angemachte Masse mit Preßluft (≈0,15 MPa) über eine Leitung und Fixierelemente an die Einbaustelle gedrückt. Ein von den Didier-Werken entwickelter P. (s. Bild) weist eine Leistung von 10 t Material in der Stunde aus, wobei die Mischzeit je Charge etwa 3 Minuten dauert.

Purpurfarbe – *eine goldhaltige Aufglasurfarbe, bei der feinst gefällte Zinnsäure feinst verteiltes Gold trägt.* Der Farbton verändert sich vom rosafarbenen Stich bis ins Violette, je nach dem entsprechenden Goldgehalt. Eine unerwünschte Bläulichfärbung kann durch Beimischen geringer Mengen Silberchlorid verhindert werden. Die Einbrenntemperatur für P. liegt bei etwa 815 bis 830 °C. 0,1 bis 1,0 % Goldpurpur wird für rote Farbglasuren verwendet.

PVD-Beschichtungsanlagen (PVD = physical vapour deposition = physikalische Dampfzersetzung) – *Vorrichtungen bzw. Konstruktionen, die das Auftragen von Schichtmaterialien auf Unterlagen übernehmen.* Sie bestehen grundsätzlich aus Teilchenquelle – Transportraum – Substrat*.

Die *Teilchenquelle* (Target, Tiegel mit Verdampfungsmaterial u. a.) stellt das aufzutragende Schichtmaterial bereit. Durch Energiezufuhr von außen und/oder aus dem Transportraum gibt die Quelle einen Teilchenstrom mit einer bestimmten Geschwindigkeitsverteilung und Richtcharakteristik ab.

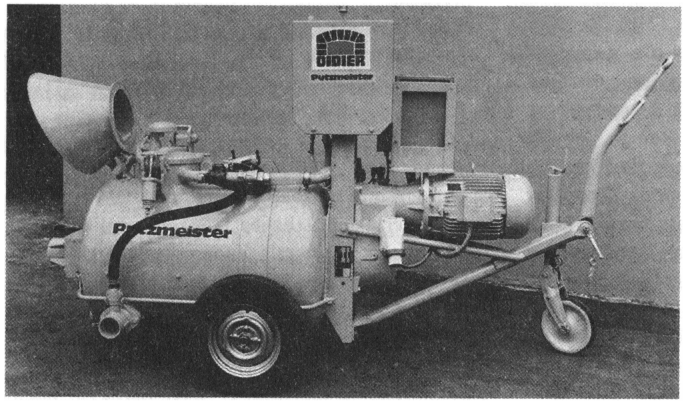
Der *Transportraum* stellt das Bindeglied zwischen Teilchenquelle und Substrat her. Die im Transportraum auftretenden bzw. fehlenden Wechselwirkungen sind ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Plasmabeschichtung und Hochvakuumbeschichtung.

Das *Substrat** (Unterlage) nimmt das Schichtmaterial auf und muß Oberflächeneigenschaften besitzen, die eine dauernde Haftung ermöglichen. Als Substratmaterialien können Plättchen aus Al_2O_3, BeO, Glas*, Steatit* oder glasierte Porzellanoberflächen (Dekoration) herangezogen werden.

Die o. a. Grundanordnung der Beschichtungsanlagen ist sowohl beim Plasmabeschichten wie auch beim Hochvakuumbeschichten realisiert; beide Verfahren weisen jedoch folgende Unterscheidungsmerkmale auf:

1) Plasmabeschichtung (Plasmazerstäubung*)

- Teilchenquelle
  Die zerstäubten Teilchen besitzen eine hohe kinetische Energie; die Richtungsverteilung gehorcht im allgemeinen dem $\cos^n \alpha$-Gesetz ($1 < n < 7$); Legierungen werden entsprechend der Konzentration im Target zerstäubt; Verbindungen zersetzen sich nicht.
- Transportraum
  Er ist mit lokal unterschiedlich ionisiertem Gas/Plasma ausgefüllt; Wechselwirkungen führen zu Änderungen der elektronischen Zustände der Atome/Moleküle/Radikale und ermöglichen Gasphasenreaktionen.



Pumpmischer
(Didier-Werke, Wiesbaden)

- Substrat
  Durch die energiereichen Teilchen erfährt das Substrat eine hohe thermische Belastung, dadurch werden die Bedingungen für eine Keimbildung* der Schichten beeinflußt, damit verbunden sind Aktivierungen für chemische Reaktionen an der Oberfläche und Ausbildung von Fehlordnungen.

2) Hochvakuumbeschichtung (Bedampfen*)
- Teilchenquelle
  Die verdampften Teilchen besitzen eine geringe kinetische Energie; ihre Richtungsverteilung entspricht ebenfalls dem $\cos^n \alpha$-Gesetz. Bei Legierungen erfolgt jedoch eine fraktionierte Destillation; Verbindungen zersetzen sich.
- Transportraum
  Die Wechselwirkungen der Teilchen untereinander sind vernachlässigbar.
- Substrat
  Die auftreffenden Teilchen bringen nur eine geringe thermische Belastung. Eine Strukturänderung der Oberfläche erfolgt im allgemeinen nicht. Der Fremdgaseinbau ist gering; chemische Reaktionen an der Oberfläche können unterdrückt werden.

Eine gewisse Zwischenstellung nimmt das plasmaaktivierte Aufdampfen (s. Bild) ein. Die verdampften Teilchen besitzen eine geringe kinetische Energie, bei Legierungen tritt eine Entmischung (fraktionierte Destillation) ein. [244, 447 bis 449]

s. CVP, Sputtern

Pyrit (Eisenkies, FeS_2; griech.: pyr = Feuer; erzeugt beim Anschlagen Funken)

Kristallographie: kubisch; das verbreitetste Sulfid, praktisch in fast allen Gesteinen und Erzen; Hauptbildungsbereich – hydrothermale Phase, daher oft als Neubildung in Tonen (sog. Kristalläpfel)

Physikalische Eigenschaften: messinggelb; starker Metallglanz; $H = 6$ bis 6,5; $D = 4{,}9$ bis $5{,}2\ g\,cm^{-3}$

P. verursacht in keramischen Rohstoffen wegen seiner Härte Schäden in Aufbereitungsmaschinen; im Brande erzeugt er im Scherben dunkelbraune Ausschmelzungen, Bildung von Fayalit*.

s. System Fe_2SiO_4-Mg_2SiO_4

Pyroceram – *s.* Vitrokeram

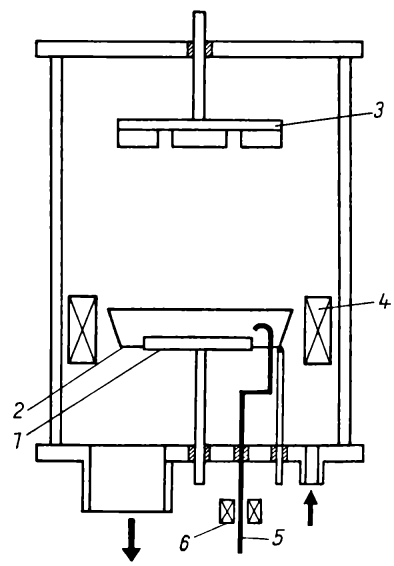
Pyroelektrizität – *an Kristallen mit polaren Hauptachsen bei plötzlichen Temperaturänderungen auf gegenüberliegenden Kristallflächen auftretende elektrische Ladung.* Erhitzung oder Abkühlung verursacht einerseits eine Längenänderung in der Kristallhauptachse, deren Richtung mit der Richtung der Polarisation übereinstimmt, und damit infolge des piezoelektrischen Effektes eine Aufladung. Zum anderen ändert sich die permanente Polarisation mit der Temperatur; beide Wirkungen sind gleichsinnig, so daß eine Aufladung des Kristalls von außen beobachtet werden kann. P. ist nur in den 10 Kristallklassen mit polaren Hauptachsen möglich. [8]

Pyrolusit (Manganerz) – 60 bis 95 % MnO_2-Gehalt.

Physikalische Eigenschaften: $H = 1$ bis 6; $D \approx 5\ g\,cm^{-3}$ (sog. Weichmanganerz)

P. wird zum Grau- und Schwarzfärben von Steinzeugplatten verwendet.

Pyrometer (griech.: pyr = Feuer, metron = Maß) – *ein Gerät zur Messung hoher Temperaturen* (600 bis 2000 °C). Im weiteren Sinne gehören auch die Thermoelemente und Widerstandsthermometer dazu. Bei den eigentlichen P. unterscheidet man im wesentlichen Gesamtstrahlungs- und Teilstrahlungspyrometer. Das *Gesamtstrahlungspy-*



Plasmaaktivierte Beschichtung mittels Bogenentladung

1 Katode	*4* Magnetfeldspule
2 Anode	*5* Zündelektrode
3 Substrathalter	*6* Induktionsspule

*rometer** (Ardometer) wird vorwiegend für die Temperaturmessung an Industrieöfen eingesetzt und erfaßt die Wärmestrahlung durch ein Linsensystem in einem Brennpunkt, der an der Lötstelle eines Thermoelementes liegt. Das Thermoelement erwärmt sich und liefert eine Thermospannung, die mit einem Galvanometer gemessen wird, das auf Celsiusgrade geeicht ist. Der Anschluß an ein Aufzeichnungsgerät ist möglich. P. können auch im Rahmen der Programmregelung zur Steuerung der Ofentemperatur eingesetzt werden. Das *Teilstrahlungspyrometer* vergleicht die Helligkeit der zu messenden Temperaturstrahlung mit der Helligkeit des glühenden Drahtes einer eingebauten kleinen Glühlampe, die sich regulieren und einstellen läßt.

s. Glühfadenpyrometer

Pyrometerkegel (PK) – *ein aus Oxiden oder Silicatgemengen, wie der Segerkegel*, geformter, leicht geneigt stehender Kegel, der zur Kontrolle des Brennzustandes in keramischen Öfen dient.* Die Bezeichnung PK 135 steht z.B. für einen P. mit dem Fallpunkt 1350 °C, PK 136 für einen Fallpunkt 1360 °C usw.

Pyrometerrohr – ein dünnwandiges, meist aus Korund, Quarzgut oder Sillimanit bestehendes Schutzrohr zur Aufnahme eines Thermoelementes oder zur optischen Temperaturmessung. Es wird bei der Messung in den Ofenraum eingeführt.

Pyrophyllit ($Al_2[(OH)_2/Si_4O_{10}]$; griech.: pyr = Feuer, phyllon = Blatt)

Kristallographie: monoklin, dioktaedrisches Dreischichtsilikat; zwischen den beiden SiO_4-Tetraederschichten ist eine Hydrargillitschicht ($Al(O, OH)_6$-Oktaederschicht) eingebettet; keine Einzelkristalle, stets feinschuppige Aggregate; derartig verfestigte Gesteine werden Agalmatolith genannt.

Physikalische Eigenschaften: weiß, gelblich, grünlich; $H = 1$ bis 1,5 nach *Mohs* (fühlt sich fettig an); $D = 2{,}66$ bis $2{,}90\ g\,cm^{-3}$; säurefest (mit Talk* zu verwechseln).

[8]

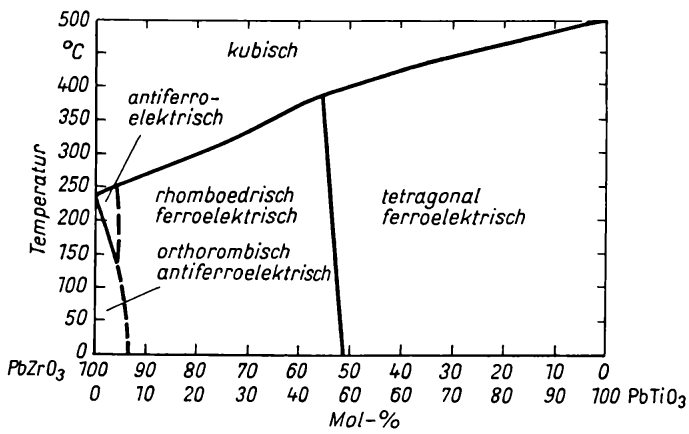
Pyroxene – *Sammelbegriff für eine Reihe von Silicaten des Typs $R^{2+}(SiO_3)$ und $R^{+}R^{3+}(SiO_3)_2$.* Ihr Hauptmerkmal sind unendliche Reihen von SiO_4-Tetraedern. Wichtigster Vertreter dieser Gruppe ist das Alumosilicat *Augit*. Seine chemische Zusammensetzung ist wegen vielfältiger Diadochie* sehr komplex.

Physikalische Eigenschaften: schwarz bis grün; $H = 5$ bis 6; $D = 3{,}2$ bis $3{,}6\ g\,cm^{-3}$.

PZT-Keramik – *Systeme von Piezokeramikwerkstoffen* auf der Basis fester Lösungen von $PbTiO_3$-$PbZrO_3$ und deren Modifikationen zu quasiternären Lösungen.*

PZT-K. kristallisiert im Perowskit-Gitter* und ist durch in weiten Grenzen variierbare technische Parameter (Kopplungsfaktor, Gütefaktor, *Curie*temperatur) charakterisiert.

Ausgehend vom ferroelektrischen $PbTiO_3$ mit einer *Curie*temperatur von 495 °C und tetragonaler Kristallstruktur, verringert sich mit zunehmender Substitution des Ti^{4+} durch Zr^{4+} die tetragonale Verzerrung des Perowskit-Gitters, so daß schließlich eine rhomboedrische (trigonale) Kristallstruktur auftritt (s. Bild).



Phasendiagramm des Systems der festen Lösungen $PbTiO_3$–$PbZrO_3$

Diese Strukturumwandlung ist wesentlich von der Zusammensetzung abhängig, während sie von der Temperatur weniger beeinflußt wird. Die Grenze zwischen der tetragonalen und rhomboedrischen Kristallstruktur wird als morphotrope* Phasengrenze (MPG) bezeichnet; Werkstoffversätze, die in diesem Bereich liegen, sind durch besondere piezoelektrische Aktivität ausgezeichnet.
Werden anstelle einzelner Ionen Ionenkombinationen eingesetzt, so daß von den Grundbausteinen des Perowskit-Gitters abweichende Wertigkeiten kompensiert werden, bietet sich eine Vielfalt von Modifikationen an, auf deren Basis ein breites Spektrum von sehr verschiedenen Werkstoffen mit optimalen Eigenschaften für die Herstellung piezoelektrischer Bauelemente verfügbar ist (s. Tabelle).
Die Existenz einer solchen Vielzahl von festen Lösungen (wie in der Tabelle ausgewiesen) folgt aus der Erfüllung der Bedingungen für den Toleranzfaktor t ($t = 0{,}9$ bis $1{,}1$), für die Radien R_A oder R_B der A_i- bzw. B_i-Ionen:

$$t = R_A + R_O/\sqrt{2}\,(R_B + R_O) \quad (O = \text{Sauerstoff}).$$

[174, 239, 453]
s. Piezokeramikwerkstoffe

Ionenkomplexe zur Modifikation von $PbTiO_3$-$PbZrO_3$ in ternären festen Lösungen

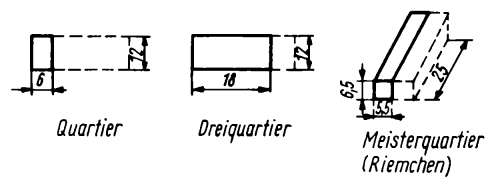
$(A^{1+}_{1/2}\,A^{3+}_{1/2})\,TiO_3$	$Pb(B^{2+}_{1/3}\,B^{5+}_{2/3})\,O_3$	$Pb(B^{3+}_{1/2}\,B^{5+}_{1/2})\,O_3$
$Pb(B^{2+}_{1/2}\,B^{6+}_{1/2})\,O_3$	$Pb(B^{3+}_{2/3}\,B^{6+}_{1/3})\,O_3$	$Pb(B^{1+}_{1/4}\,B^{5+}_{3/4})\,O_3$

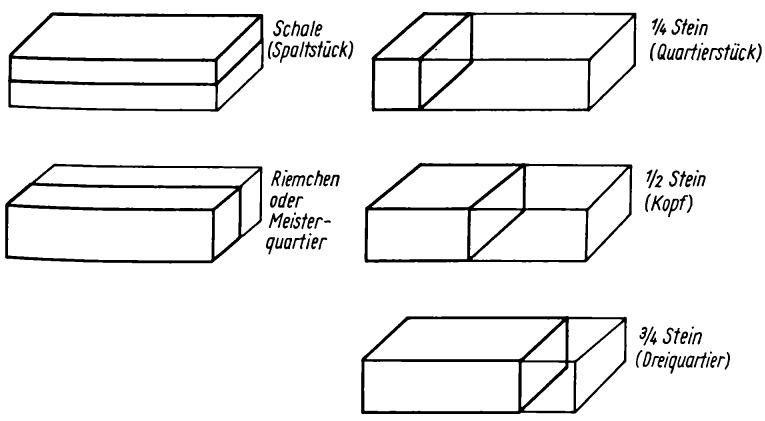
A^{1+};	Li, Na, K
A^{3+};	Bi, La, Ce, Nd
B^{1+};	Li, Cu
B^{2+};	Mg, Ni, Zn, Mn, Co, Sn, Fe, Cd
B^{3+};	Mn, Sb, Al, Yb, In, Fe, Co, Sc, Y
B^{5+};	Nb, Sb, Ta, Bi
B^{6+};	W, Te, Re

Q

Quartier – *eine manchmal noch übliche Bezeichnung für einen Viertelstein.* Ein *Dreiquartier* ist ein Dreiviertelstein, während man unter *Meisterquartier* oder Riemchen einen längsgeteilten Ziegelstein versteht (s. Bild).

Quarz (SiO_2) – Bezeichnung geht auf *Georg Agricola* zurück. Q. wird in die Massen meist als Sand eingeführt, reagiert mit den anderen Komponenten im allg. erst bei Temperaturen >1200 °C; $H = 7$; muscheliger Bruch (sonstige Eigenschaften s. System SiO_2). Für sein Reaktionsverhalten ist seine geologische Vergangenheit von Bedeutung.





Verschiedene Formen von Quartieren

Quarzgut – *s.* Kieselgut

Quarzite – SiO_2-Gesteine. Man unterscheidet:

1) Felsquarzite

Sie entstanden aus Sanden unter Einwirkung hohen Gebirgsdruckes, durch den die Körner miteinander verschweißt wurden. (Sind die Körner nicht verschweißt worden, spricht man von *Sandsteinen*.) Felsquarzite wandeln bei Temperaturerhöhung schlecht um.

2) Zementquarzite

Sie sind im Schwankungsbereich des Grundwassers entstanden und ebenfalls aus Sanden hervorgegangen. Ihre Verfestigung erfolgte durch Ausscheidung kolloidal gelöster Kieselsäure aus dem Grundwasser. Durch Alterung kann diese sich in feinkristallinen Quarz umwandeln und wird dann als *Basalzement* bezeichnet. Im Brand wandeln Zementquarzite gut um. Q. bilden den Hauptrohstoff der Silicasteine.

s. System SiO_2.

Quarzitschiefer – *eine Gruppe von Felsquarziten, die starken tektonischen Drücken und Belastungen ausgesetzt war.* Dabei können Quarzkörner zertrümmert worden sein. Im polarisierten Licht kann deshalb wellenförmige Auslöschung auftreten.

Quarzmonitor (lat.: monere = erinnern, mahnen) – *eine Anordnung, die den Piezoeffekt des Quarzes zur Messung der Dicke von dünnen Schichten bis zur Kontrolle der Kondensationsrate von dünnen Schichten*, d. h. Kontrolle der in der Zeiteinheit aufgebrachten Schichtdicke, in Vakuumbeschichtungsanlagen* einsetzt.*

Der Q. nutzt die Änderung der Eigenfrequenz Δf der Dickenschwingungen eines Quarzplättchens als Folge einer Dickenänderung

$$\Delta f/f = -\Delta d_s/d_s$$

f Frequenz
Δf Änderung der Eigenfrequenz
d_s Schichtdicke
Δd_s Schichtdickenänderung.

Die Massezunahme Δm ist gleichbedeutend mit einer Zunahme der Schichtdicke Δd_s auf der Fläche A, wobei die Dichte der Schicht zu berücksichtigen ist, da ein vom Quarz unterschiedliches Material aufgebracht wird.

Zur Durchführung der Messung werden Quarze mit Resonanzfrequenzen um 5 MHz mit einer dünnen aufgedampften Elektrode verwendet. Das Meßsignal Δf wird durch Differenzbildung der Resonanzfrequenzen eines Meß- und eines Vergleichsquarzes gewonnen. Zur Bestimmung der Kondensationsrate erfolgt noch eine Differentiation des Ausgangssignals nach der Zeit df/dt bzw. dd_s/dt. Mit dem Q. können Schichtdicken von 0,3 nm bis 3 μm erfaßt werden. [469]

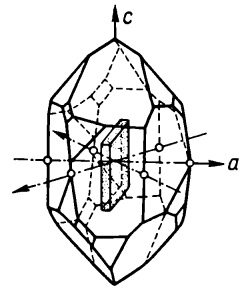
Quarzporphyr – ein quarz- und feldspathaltiges Ergußgestein, häufig Muttergestein von Kaolinen.

Quarzsand – *locker angehäufte Quarzkristalle.* Bekanntlich verwittern Quarze nicht, sondern werden nur mechanisch gebrochen. Die noch auf primärer Lagerstätte befindlichen Q. sind scharfkantig und werden als *scharfe Sande* und die durch Wasser/Wind abtransportierten Q. von kugelig-eiförmiger Gestalt als *weiche Sande* bezeichnet.

Verwendung: als Quarzkomponente im Porzellan, in der Glasindustrie.

Quarzschwinger – *aus unverzwillingten natürlichen oder synthetischen Quarzen herausgeschnittene Scheiben/Stäbe/Linsen, die unter dem Einfluß eines hochfrequenten elektrischen Wechselfeldes zu intensiven Deformationsschwingungen angeregt werden können, wenn die erregende Frequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt.*

Die Ursache dieses Verhaltens beruht auf dem *piezoelektrischen Effekt* (Piezoelektrizität*). Zur Erzielung bestimmter Temperatureigenschaften und Schwingungsformen werden dabei bestimmte Orientierungen zu den Kristallachsen eingehalten (s. Bild).



Lage einer »Schwingplatte« in einem Quarzkristall

Nach der Schwingungsform lassen sich Q. einteilen in Biegeschwinger, Längsschwinger, Flächenscherschwinger und Dickenscherschwinger.

Gegenüber Piezokeramikwerkstoffen* ist der piezoelektrische Effekt eines Q. klein, weshalb im Betrieb mit hohen Anregerspannungen gearbeitet

werden muß. Dem stehen jedoch in einem großen Frequenzbereich ein sehr kleiner Temperaturkoeffizient der Frequenz und eine sehr hohe Frequenzstabilität gegenüber; z. B. werden mit quarzgesteuerten Sendern Frequenzstabilitäten $\Delta f/f \approx 10^{-8}$ erreicht. Weitere Einsatzgebiete von Q. sind Quarzoszillatoren, Quarzfilter zur Frequenzselektion u. a.

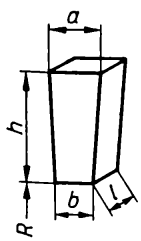
Quarz-Schamotte-Stein – *ein Erzeugnis, das aus Quarz, Ton und/oder Kaolin mit und ohne Magerung durch Schamotte hergestellt wird.* Nach TGL 4323 werden für allgemeine Zwecke folgende Werte gefordert: 68 bis 75 % SiO_2, 1 bis 2,5 % Fe_2O_3, 0,5 bis 1,0 CaO + MgO, 1 bis 2,5 % Alkalien, Rest Al_2O_3; $\varrho_R = 1{,}85$ bis $2{,}10\,g\,cm^{-3}$; OP = 17 bis 27 %; $\sigma_{dB} = 130$ bis 140 MPa; $t_a = 1300$ bis 1450 °C; Kegelfallpunkt = PK 167 bis 171. Q.-Erzeugnisse haben als Hauptmineralbestandteile Quarz und Glasphase, wechselnde Mengen Mullit, vereinzelt Tridymit oder Cristobalit – je nach Rohstoffauswahl und Brennführung – und werden als Stahlwerksverschleißmaterial, zu SM-Ofen-Kammergitterungen, bei Stahlgießpfannen (Pfannensteine), Koks-, Glasschmelz-, Kupol-, Glüh- und Stoßöfen verwendet.

Quellfähigkeitsbestimmung – *s. Enslin*wert

Quellungswasser – *der Teil des Anmachewassers bei tonigen Rohstoffen, der durch Adsorption fest gebunden ist.* Auch das durch innerkristalline Quellung (z. B. des Montmorillonits) gebundene Wasser gehört dazu. Das Q. beeinflußt maßgeblich die Bildsamkeit.

s. Schwindung

Querwölber – *standardisierte Wölbsteine* mit ebenen Kopfflächen, deren mittlere Breite (Richtung der Wölbung) die Hälfte der Höhe (Radialrichtung) beträgt (s. Bild).



Querwölber

s. Wölbsteine

Quirl – *s.* Rührwerk

R

Rahmenstil – *die gegliederte Verzierung eines Gefäßes* (z. B. bei Glockenbechern). Das Verzierungsmuster besteht aus getrennten Dekorationsflächen (Gegensatz: Umlaufstil).

Rakel – *ein breites, dünnes, messerartiges Stahlband oder eine Naturgummiplatte,* die zwischen zwei Aluminiumplatten etwa 1,5 cm hervorsteht. Die R. wird u. a. zum Durchstreichen von Farbe durch die Schablone (beim Siebdruck) verwendet.

Rasterelektronenmikroskopie – *s.* Elektronenmikroskopie

Rauchgas – *gasförmiger Verbrennungsrückstand der festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffe,* der im wesentlichen N_2, CO_2, CO, Restsauerstoff, Wasserdampf und Stäube enthält. Im Brennstoff evtl. vorhandene Schwefelverbindungen werden zu SO_2 oder SO_3 oxydiert. Bei Verbrennung unter Luftmangel enthält das R. noch brennbare Bestandteile (H_2, CO, CH_4 u. a.). Für die ständige Prüfung der R., die aus Gründen der Brennökonomie erforderlich ist, werden verschiedene selbsttätige Analysengeräte eingesetzt, die CO_2, CO, andere brennbare Bestandteile und den Sauerstoffanteil laufend registrieren. Zur angenäherten Bestimmung der Rauchgasvolumina je kg bzw. m^3 Brennstoff in Abhängigkeit von H_u (s. Verbrennungswärme) gelten folgende Beziehungen:

- feste Brennstoffe mit $H_u > 21\,MJ\,kg^{-1}$ – $V_{g\,min} = (0{,}22\,H_u + 1{,}5)\,m^3/kg$ Brennstoff,
- feste Brennstoffe mit $H_u < 21\,MJ\,kg^{-1}$ – $V_{g\,min} = (0{,}26\,H_u + 0{,}4)\,m^3/kg$ Brennstoff,
- Heizöle – $V_{g\,min} = (0{,}264\,H_u)\,m^3/kg$ Brennstoff,
- Armgase – $V_{g\,min} = (0{,}17\,H_u + 1{,}0)\,m^3/m^3$ Brennstoff,
- Reichgase – $V_{g\,min} = (0{,}27\,H_u + 0{,}25)\,m^3/m^3$ Brennstoff,

H_u unterer Heizwert

Armgase: $H_u < 12{,}5\,MJ\,m^{-3}$

Reichgase: $H_u > 12{,}5\,MJ\,m^{-3}$.

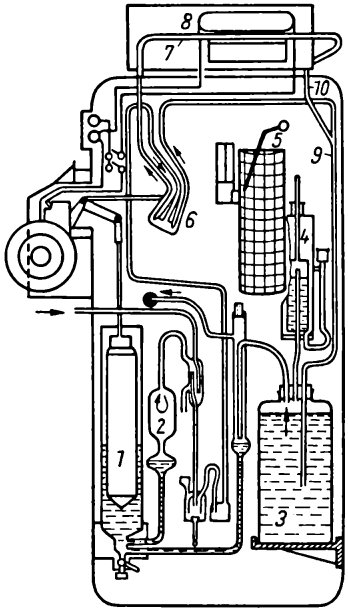
(Alle Volumina sind auf Normzustand V_n bezogen.) [419]

Rauchgasanalysator – *volumetrischer Gasanalysator zur Messung von CO_2 bzw. $CO_2 + CO + H_2$ in Abgasen von Verbrennungsöfen.* Das Gerät arbeitet automatisch; in einem Meßzyklus von 2,5 bis

3 min saugt der R. Rauchgas aus dem Abgaskanal bzw. Schornstein an und analysiert das Gas. Im einzelnen laufen die Arbeitstakte folgendermaßen ab:

- Ansaugen eines definierten Volumens und Drücken desselben in das Absorptionsgefäß (Absorber: 30 %ige KOH),
- Drücken des Restvolumens in eine Verbrennungskammer zum Verbrennen von $CO + H_2$,
- erneutes Drücken des Rauchgases in den Absorber.

Die jeweiligen Absorptionen sind mit Volumenverringerungen verbunden, die vom Gerät registriert werden (s. Prinzipskizze).

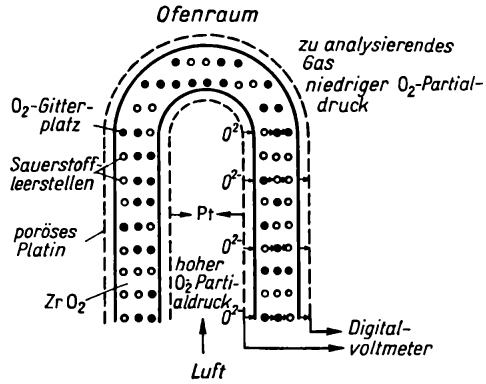


Volumetrischer Gasanalysator

1 Kolben	*6* Hahn
2 Dosiervorrichtung	*7* Rohr
3 Absorptionsgefäß	*8* Brennkammer
4 Glocke	*9, 10* Rohr
5 Schreiber	

s. Orsat-Gerät, Sauerstoffmesser

Rauchgassonde – *Sensor* zur kontinuierlichen Messung des O_2-Gehaltes von Rauchgasen auf der Basis eines anionenleitenden Festelektrolyten**. Wirken auf zwei entgegengesetzte Seiten eines Festelektrolyten (z. B. ZrO_2) zwei unterschiedliche Sauerstoffpartialdrücke (Prüfgas und Vergleichsgas) ein, so kommt es bei Temperaturen >500 °C zu einer Sauerstoffionendiffusion über Leerstellen mit dem Ziel eines Konzentrationsausgleichs. Die dabei auftretende Potentialdifferenz kann mit einem empfindlichen Voltmeter gemessen werden. Je nach Art und Aufbau des Meßsystems können damit ein Meßbereich von 1 bis 3 000 ppm, aber auch hochprozentige O_2-Gehalte erfaßt werden. Außer der genannten Anwendung können R. zur Messung des Sauerstoffgehaltes in Metallschmelzen, in Wärmebehandlungsanlagen der chemisch-thermischen Verfahrenstechnik und als O_2-Meßfühler in Kraftfahrzeugabgasen eingesetzt werden (s. Prinzipdarstellung). [123]



Prinzipdarstellung der Sauerstoffmeßzelle einer Rauchgassonde (nach *Chirino*)

Rauchgelb – *Verfärbung des keramischen Scherbens* durch Einlagerung von kolloidalem Kohlenstoff in den noch porösen Scherben bei zu starker Reduktion, während das sog. Luftgelb auf Oxydation von Eisenverbindungen bei höheren Temperaturen zurückgeführt wird.

Rauensteiner Porzellanmanufaktur – eine 1783 gegründete Manufaktur, die ein volkstümliches Gebrauchsgeschirr mit bunter Blumen- und Blaublümchenmalerei auf geriffeltem Grund herstellte. (Fabrikmarke s. Bild)

Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Rauenstein

Rauhbrand – *Bezeichnung für den Glühbrand* bei Steingut;* er liegt in der Temperatur höher (1 150 bis 1 200 °C) als der nach dem Glasieren erfolgende Glattbrand (1 000 bis 1 050 °C).

Rauhigkeit – *s.* Oberflächenrauhigkeit

Rautenziegel – *ein Preßfalzziegel für Dachabdeckungen.* Die Bezeichnung erfolgte nach einer Kantenverzierung, die sich auf der Oberfläche erhaben abhebt.

Reaktion (lat.: re = wieder, agere = handeln, wirken) – *chemische Umwandlung von Elementen oder Verbindungen in andere Verbindungen bzw. Freisetzung von Elementen.* Diese Umwandlungen werden stets von physikalischen Vorgängen begleitet.

R. zur Bildung von Silicaten verlaufen sehr langsam, wobei die Geschwindigkeit durch die wechselseitige Diffusion der Stoffe bei R. in fester Phase (z. B. bis etwa 800 °C) und die Diffusion bei R. in der Schmelze bestimmt wird. Die Feinmahlung der Rohstoffe beschleunigt die Reaktionsgeschwindigkeit in den Porzellan-, Steingut- und Sondermassen. Die Kinetik der R. beeinflußt die Dauer des Brandes, den Endzustand der physikalisch-chemischen Umwandlungen und somit die Qualität des Produktes.

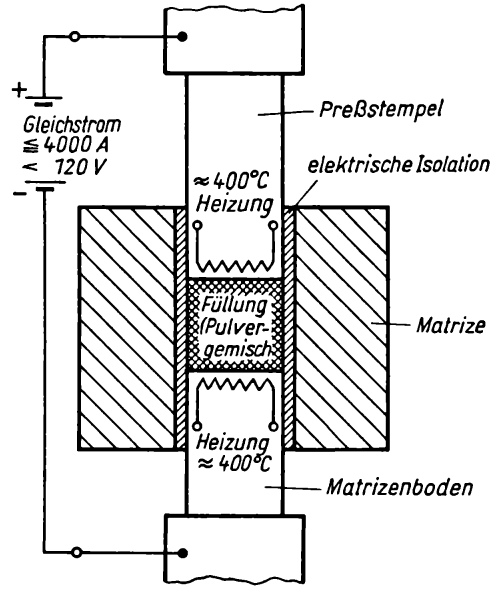
Reaktionsdrucksinterung – *eine Form der Sinterung*,* bei der das Pulvergemisch zur Erreichung des angestrebten Sinterproduktes

- eine aktive Komponente, die die erforderliche exotherme Reaktionswärme liefert, und
- eine inerte Komponente zur Dämmung bzw. Steuerung der sehr intensiv verlaufenden Reaktion

enthält und schließlich zur Erreichung der Verdichtung noch äußerer Druck hinzukommt (prinzipielle Anordnung des Verfahrens s. Bild).

Die erforderliche exotherme Reaktionswärme der aktiven Komponente muß in der Größenordnung von 42 kJ/g-Atom liegen. Neben sorgfältiger Vorbehandlung der einzusetzenden Rohstoffe erfordert die verfahrenstechnische Durchführung der R. zum einen, das Reaktionsgemisch so rasch wie möglich bis zum Zündpunkt zu erwärmen, und zum anderen den Einsatz einer schnell arbeitenden Presse, die es gestattet, dem kurzzeitigen Reaktionsablauf in jeder Phase zu folgen.

Durch R. werden insbesondere keramische Verbundwerkstoffe, Hartmetalle, Mischkeramiken, wie UO_2-C, u. a. hergestellt. [467]



Schematische Darstellung der Anordnung für das reaktionsthermische Drucksinterverfahren

Reaktionsenthalpie, freie *(G)* – *Gibbssches thermodynamisches Potential, Nutzwärme; Anteil der Enthalpie*, der bei reversibler isobarer Führung eines in einem thermodynamischen System ablaufenden Prozesses in jede beliebige Energieform umwandelbar ist.*

Die freie R. ist eine thermodynamische Zustandsfunktion.

$$\Delta G_T = \Delta H^\circ_{298} - T\Delta S^\circ_{298}$$

ΔG_T	f. R. in Abhängigkeit von der Temperatur (in J mol^{-1})
ΔH°_{298}	Bildungswärme (Wärmetönung) bei 25 °C (in J mol^{-1})
ΔS°_{298}	Reaktionsentropie bei 25 °C (in J K^{-1})
T	Temperatur (in K)

(Die Standardwerte von G°_{298}, H°_{298} und S°_{298} sind tabelliert, z. B. in [133, 570, 571]).

Mit Hilfe von ΔG kann man für verschiedene Bedingungen die einzelnen Reaktionsaffinitäten eines Prozesses berechnen und aus dem absoluten negativen Wert von ΔG die theoretisch mögliche ablaufende Reaktion und das Primärprodukt dieser Umsetzung ermitteln. Voraussetzung dafür sind Einstellung eines Gleichgewichtes und Idealablauf der Reaktion.

Trotz einer Reihe weiterer Einschränkungen

(Nichtberücksichtigung des Zeitfaktors, aktiver Zustände der Reaktionspartner, Aktivierungsenergien u. a.) erlaubt die Berechnung von ΔG theoretische Aussagen über Sinn oder Sinnlosigkeit experimenteller Untersuchungen und technischer Versuche.
[16, 56, 58, 66]

Reaktionskinetik (griech.: kinein = bewegen) – *Lehre, die sich mit dem zeitlichen Ablauf von chemischen Reaktionen befaßt und die Geschwindigkeit, mit der sich die verschiedenen Reaktionen dem Umsetzungsgleichgewicht nähern, untersucht.* Die zeitliche Veränderung eines Systems hängt nicht nur vom Anfangs- und Endzustand ab, sondern auch vom Reaktionsmechanismus. Die Messung der Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Konzentration, den Drücken der reagierenden Stoffe und der Temperatur liefert die Grundlage für die Festlegung des Reaktionsmechanismus. Eine bedeutende Rolle spielen in der R. die Katalysatoren. Es ist in der R. üblich, die R. nach der Zahl der Teilchen (Atome, Ionen, Moleküle, Radikale), deren gleichzeitige Wechselwirkung zur chemischen Umsetzung führt, oder nach der Anzahl der Stoffe, von deren Konzentration und/oder Partialdruck die Geschwindigkeit abhängt, zu unterscheiden (Reaktionsordnung). Da sich während der R. die Konzentration der Stoffe ändert, verändert sich auch die Reaktionsgeschwindigkeit; sie wird durch den Differentialquotienten $dc/d\tau$ bzw. $-dc/d\tau$ definiert.

Reaktionssintern – *eine Form des Sinterns, bei der die zu sinternden Partner während des Aufheizens statu-nascendi-Zustände (Zustand der Neubildung) erfahren, wirksam miteinander reagieren und sintern.* Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Bildung von Siliciumnitrid*: Formkörper aus Siliciumpulver werden nach keramischer Technologie hergestellt und im Stickstoffstrom bei 1 200 bis 1 400 °C reaktionsgesintert. Eine andere Möglichkeit ist, den Formling in einem ersten Schritt nur bis zu einem bestimmten Grad zu nitridieren, ihn mechanisch auf die geforderten Abmessungen zu bringen und anschließend vollständig zu nitridieren. Reaktionsgesintert werden noch Siliciumcarbid*, Urancarbid u. a.
s. Wirbelschichtgranulieren.

Reaktionswärme – *die Wärme, die bei einer chemischen Reaktion frei oder gebunden wird,* meist wird sie auf den Umsatz eines Mols bezogen. Da die meisten Reaktionen mit Volumenarbeit verbunden sind, muß unterschieden werden zwischen Reaktionen bei konstantem Druck (Reaktionsenthalpie ΔH) und Reaktionen bei konstantem Volumen (Reaktionsenergie ΔU). Nur bei kondensierten Phasen, bei denen keine Volumenarbeit geleistet wird, kann $\Delta H = \Delta U$ gesetzt werden, sonst unterscheiden sie sich um den Betrag der Volumenarbeit:

$W = -p\,\Delta V = \Delta n\,RT$, d. h.

$H = \Delta U + p\,\Delta V = U + \Delta n\,RT$

W Volumenarbeit
V Volumen
p Druck
R Gaskonstante
T absolute Temperatur
Δn Differenz der Molzahlen des gasförmigen Endprodukts und der gasförmigen Anfangsprodukte.

Nach den Energieverhältnissen werden unterschieden:

1) exotherme Reaktionen
Das System gibt Wärme an seine Umgebung ab; formelmäßig wird das durch ein negatives Vorzeichen ausgedrückt. *Beispiel:* $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $\Delta H = -393{,}2\ kJ\ mol^{-1}$

2) endotherme Reaktionen
Das System nimmt Wärme aus seiner Umgebung auf. Da dies für das System einen Gewinn darstellt, wird das durch ein positives Vorzeichen ausgedrückt.
Beispiel: $N_2 + O_2 \rightarrow 2\,NO$
$\Delta H = +179{,}7\ kJ\ mol^{-1}$

(In der älteren Literatur war anstelle der Bezeichnung R. der Ausdruck Wärmetönung üblich, bei dem entgegengesetzte Vorzeichen verwendet wurden.)

Reaktorkeramik – *Zweig der Keramik, der sich mit der Erforschung und Erzeugung von Werkstoffen beschäftigt, die zum Betrieb von Kernreaktoren benötigt werden.* Die Werkstoffe müssen hochtemperaturbeständig sein, d. h., Dichte, Festigkeit, *E*-Modul, Wärmeleitfähigkeit, thermische Dehnung müssen den Anforderungen einer Hochtemperaturanlage entsprechen; außerdem ist das nukleare Verhalten von besonderer Bedeutung. Eine der wichtigsten Forderungen ist hierbei eine hohe Dimensionsstabilität unter Bestrahlung, auch nach längerer Bestrahlungsdauer. Bei Brennelementen ist noch zusätzlich zu berücksichtigen, daß bei der Kernspaltung die Freisetzung einer großen Wär-

memenge in einem kleinen Volumen stattfindet. Von 200 MeV je Spaltung treten 169 MeV als kinetische Energie der Spaltproduktatome auf, die durch Abbremsung der Spaltprodukte durch die Atome des Kernbrennstoffes in Wärme umgewandelt werden.
Einige wichtige, in der Kerntechnik eingesetzte Sinterwerkstoffe sind in der Tabelle aufgeführt:

Sinterwerkstoffe als Reaktormaterialien (nach [397])

Bauteil	Funktion	Wirksames Element	Werkstoff
Brennelement	Atomspaltung	^{235}U ^{239}Pu	UO_2 PuO_2 $(U, Pu)O_2$
	Brutreaktion	^{238}U ^{232}Th	UO_2 ThO_2
Moderator	Bremsung von Neutronen	Be C	BeO_2 Graphit
Reflektor	Streuung von Neutronen	Be C	BeO_2 Graphit
Absorber	Vernichtung von Neutronen	B Seltene Erden	B_4C z. B. Eu_2O_3
Wärme-isolator	Wärmeabschirmung des 1. Kreislaufes und Cores (Reaktorkern)		SiO_2 Al_2O_3

Durch die Einwirkung von Neutronen auf die Werkstoffe finden Gitterveränderungen (Leerstellen, Zwischengitteratome u. a.) statt. Keramische Werkstoffe weisen dabei gegenüber Metallen eine Reihe von Vorteilen auf, wie (nach *H. Hauser*)
- ausgezeichnetes Bestrahlungsverhalten,
- hohen Schmelzpunkt
- keine Phasenumwandlungen bis zum Schmelzpunkt,
- gute Korrosionsbeständigkeit gegen Kühlmittel.

Dem stehen an Nachteilen gegenüber:
- niedrige Spaltstoffdichte,
- schlechte Wärmeleitfähigkeit,
- Sprödigkeit.

[133, 397]

Realkristall – *natürlicher Kristall, der immer Unregelmäßigkeiten im Gitterbau aufweist, die mehr oder weniger seine Eigenschaften beeinflussen.* (Ein Kristall in der Größenordnung von 1 mm^3 enthält etwa 10^{21} Bausteine.) Man unterscheidet:
- makroskopische (mechanische) Baufehler in der Größenordnung $>10^{-3}$ cm,
- mikroskopische (mechanische) Baufehler in der Größenordnung von 10^{-5} bis 10^{-3} cm,
- submikroskopische Baufehler in der Größenordnung von 10^{-5} bis 10^{-6} cm, Mosaikstruktur,
- Fehlordnungen oder atomare Baufehler in der Größenordnung $<10^{-7}$ cm (Gitterlücken, Elektronenlöcher u. a.).

***Rebinder*-Effekt** – *eine durch Adsorption* von grenzflächenaktiven Flüssigkeiten erleichterte Verformbarkeit bzw. herabgesetzte mechanische Festigkeit von Festkörpern.*
Die in die Mikrorisse eindringende Flüssigkeit erzeugt einen nach innen gerichteten Flächendruck, der schließlich zur Vergrößerung des Risses beiträgt. Bemerkenswert ist, daß nur geringe Konzentrationen ausreichen, oft genügen nur monomolekulare Flüssigkeitsschichten zur Auslösung. Der R.-E. ist benannt nach dem sowjetischen Physikochemiker *P. A. Rebinder* (1888–1972). [15]

Rechteckferrit – *s.* Ferrite

Reduktionsglasuren (lat.: reducere = zurückführen) – *eine Glasur, bei der die Färbung und die Oberflächenbeschaffenheit durch einen reduzierenden Brand erreicht werden.* Dabei muß der gesamte Brand reduzierend geführt werden oder nur die Abkühlung (die Glasur darf hierbei noch nicht erstarrt, sondern muß noch reaktionsfähig sein). Zur Gruppe der R. zählen u. a. *Chinarot* (Kupfer-, Chinesisch-, Ochsenblutrot, Kupferoxydulglasur), das echte *Seladon* und die *Lüsterglasuren**. R. mit den entsprechenden Farbtönungen wurden auch bei starker Rauch- und Rußentwicklung (gedrosselte Luftzufuhr) mit Oxiden des Urans, Mangans, Titans, Eisens sowie mit Vanadium- und Molybdänverbindungen erzielt. [468]

Reflektor (lat.: flectere = drehen, wenden)
1) Neutronenphysik – Werkstoff mit gutem Streuvermögen und geringer Absorption für thermische Neutronen.
Der R. wird u. a. als Umhüllung der Spaltzone eines Reaktors benutzt. Seine Funktion dabei ist, die nach außen zur Oberfläche der Spaltzone wandernden Neutronen zurückzustreuen. Damit blei-

ben diese Neutronen der Kernspaltungsreaktion erhalten, so daß die erforderliche Menge an Spaltelementen kleiner gehalten werden kann, als ohne R.; außerdem sorgt er für eine gleichmäßigere Flußverteilung im Reaktor. Keramische R. sind z. B. BeO, Graphit.

2) Hochfrequenztechnik – sekundäres Element eines Richtstrahlers, das in einem bestimmten Abstand hinter einem Primärstrahler (z. B. Dipol) angeordnet ist, d. h. entgegengesetzt zur Strahl- und Empfangsrichtung. Ein R. erhöht die Richtwirkung.

3) Optik – Vorrichtung zum Sammeln und Zurückwerfen von Lichtstrahlen in einer bestimmten Richtung.

Reflexion (lat.: referre = zurückwenden) – *Zurückwerfen von Lichtwellen beim Auftreffen auf die Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Medien;* nichtselbstleuchtende Körper reflektieren das Licht nach den Richtungen, von denen sie sichtbar sind.

1) diffuse R. (Remission) – zerstreut zurückgeworfenes Licht an rauhen Oberflächen, wobei die Rauhigkeiten in der Größenordnung der auffallenden Lichtwellenlänge liegen.

2) selektive R. – Zurückwerfen von Lichtwellen nur eines schmalen Wellenlängenbereiches.

s. Glanz

Refraktometer (lat.: refrangere = hemmen) – *optisches Instrument zur Bestimmung der Brennzahl n von festen Körpern und Flüssigkeiten* unter Nutzung des Grenzwinkels φ der Totalreflexion oder des streifenden Lichteinfalls bei Verwendung eines Meßprismas mit bekannter Brechzahl n' nach der Beziehung $n/n' = \sin\varphi$.

Regeneration (lat.: regere = zurücktragen) – *energetische und/oder stoffliche Kopplung zwischen nach- und vorgeschalteten Anlagenteilen zum Zwecke einer Rückführung von Energie* (sog. Rückführungsschaltung, s. Bild 1).

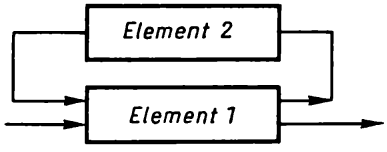


Bild 1. Rückführungsschaltung

Bei der R. wird systematisch eine Rückkopplung angestrebt, bei der die systeminternen Rückkopplungen erhöht und die äußeren vermindert werden. Besondere Bedeutung kommt der R. von thermischer Energie zu; im *T,Q*-Diagramm (s. Bild 2) werden Möglichkeiten des regenerativen Wärmetausches aufgezeigt. Ein Wärmetausch ist immer an die Forderung $T_{ab} > T_{zu}$ gebunden (bestenfalls T_{ab} gleich T_{zu} bei unendlich großer Wärmeaustauschfläche). Günstige Verhältnisse für einen Wärmeaustausch werden erreicht, wenn der Kurvenverlauf der abzukühlenden Ströme mit dem der aufzuwärmenden Ströme in Deckung gebracht werden kann.

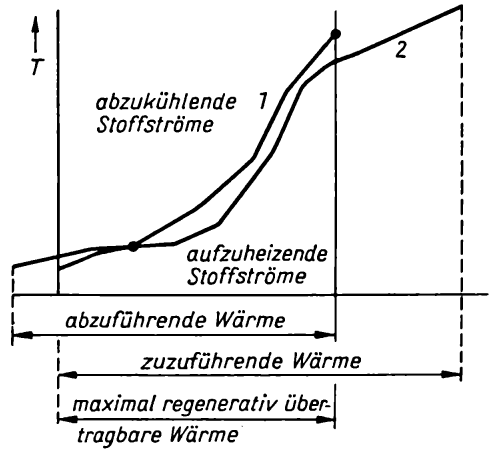


Bild 2. Möglichkeiten der regenerativen Wärmeübertragung (*T, Q*-Diagramm)

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei chemischen Reaktionen, wenn nicht umgesetzter Stoff zurückgeführt und erneut in den Reaktionsablauf eingebracht wird.

R. ist stets mit einer Verbesserung der energetischen Güte, d. h. mit einer Verbesserung des Wirkungsgrades einer Anlage, verbunden. [470]

Regenerator (lat.: re = zurück, generare = erzeugen) – *periodisch arbeitender Wärmetauscher,* dessen Speichervolumen abwechselnd durch ein Gas aufgewärmt und durch ein anderes Gas abgekühlt wird; verfahrenstechnisch sind für diesen Vorgang mindestens zwei R. erforderlich (s. Schaltbild/Bild 1).

R. dienen zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Brennaggregaten; die abströmenden Verbrennungsgase heizen den R *1* auf, die zuströmende Verbrennungsluft bzw. Frischgas kühlt den zuvor aufgeheizten R *2* ab. Nach einer bestimmten Zeit erfolgt eine Umschaltung der beiden R.

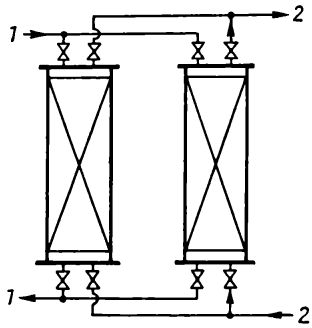


Bild 1. Prinzipschema der Schaltung für 2 Regeneratoren

Nach einer Faustregel verbessert eine Erwärmung der Verbrennungsluft um 100 K den feuerungstechnischen Wirkungsgrad um etwa 5 %.
Die derzeitig häufigste Bauform dieser Wärmerückgewinnungsanlage ist der stehende hochgezogene R. (Bild 2). [169]

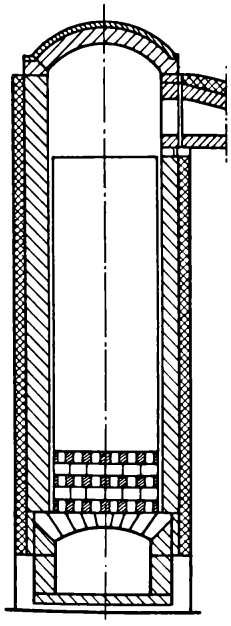


Bild 2. Hochgezogener Regenerator

Rehydratation (lat.: re = wieder; griech.: hydor = Wasser) – *erneute Wasseraufnahme wasserarmer oder wasserfreier Brennprodukte unter Wärmeabgabe*; meist ist damit eine Ansteifung bzw. Erhärtung dieser Stoffe verbunden, z. B. die Erhärtung des Halbhydrats (Plaster).

Reinststoffe – *Stoffe mit einer sehr geringen Anzahl von Beimengungen an Fremdatomen, wobei sich jedoch »reinst« nicht eindeutig definieren läßt.* So wird z. B. Germanium mit einem Reinheitsgrad von 99,999 999 99 % (d. h., auf 10^{10} Atome kommt nur ein Fremdatom) als reinst bezeichnet, während Aluminium mit einem Reinheitsgrad von 99,999 % ebenfalls als reinst bezeichnet wird. R. werden über wiederholte Raffinationsverfahren, Zonenschmelzverfahren, thermische Zersetzung hochgereinigter Ausgangsverbindungen u. a. gewonnen.

Reiseleistung, spezifische – *die insgesamt während einer Wannenreisezeit geschmolzene Glasmenge in t, bezogen auf die Herdfläche in m^2.* Als Herdfläche gilt die gesamte von den Wannensteinen im Neuzustand des Schmelzaggregates umschlossene Fläche, abzüglich der Fläche des Einlegevorbaus und abzüglich der Fläche, in der das Glas unmittelbar unter ff. Bauteilen, wie Durchlaß, Brücke, Schwimmer usw., hindurchfließt. S. R. hängen ab von der Wannenführung, Glaszusammensetzung und vom ff. Baumaterial. Sie bewegen sich in der Größenordnung 1 200 bis 2 400 t m^{-2}.

Reißlänge – *s.* Strangformen

Rekombination (lat.: re = wieder, componere = besänftigen) – *Elementarprozesse, bei denen sich Ladungsträger mit unterschiedlichen Vorzeichen vereinen.* R. findet statt
- in ionisierten Gasen (Ionen + Elektronen),
- in Halbleitern* (Leitungselektronen + Löcher),
- in Elektrolyten* (Ionen entgegengesetzten Vorzeichens).

Eine R. kann strahlend (Strahlungsemission) oder strahlungslos erfolgen; im letzteren Falle wird die freiwerdende Energie in thermische Energie umgesetzt.

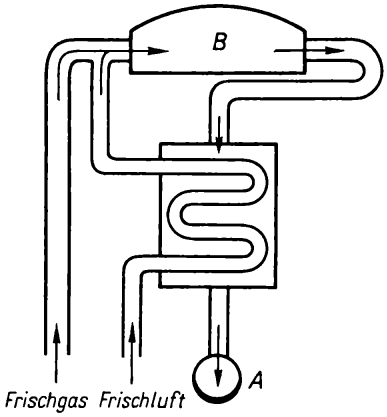
Rekristallisation

1) Primäre R. bezeichnet die Umkristallisation eines polykristallinen Werkstoffes nach plastischer Verformung. Die im verformten Körper verbleibenden Spannungen werden durch R. ausgeglichen, indem sich an den am stärksten verformten Kristallteilchen aus Kristalliten oder Keimen neue Kristalle bilden. Die Bildung der Kristallkeime beruht auf Platzwechselvorgängen, die durch erhöhte thermische Bewegung infolge einer Temperaturbehandlung ermöglicht werden. Das Keimwachstum kann so weit fortschreiten, bis das gesamte verformte Gefüge aufgezehrt und ein neues span-

nungsfreies Gefüge entstanden ist. Da sowohl Keimbildung als auch Kristallwachstum stark temperaturabhängig sind, beobachtet man häufig, daß das Wachsen in einem ziemlich begrenzten Temperaturbereich einsetzt. Daher spricht man häufig von *Rekristallisationstemperatur.*

2) Sekundäre R., oder auch *diskontinuierliches Kornwachstum,* bezeichnet die Erscheinung, daß beim Sintern einzelne energiereiche (aktivierte) Körner sehr stark wachsen, wobei sie auch die hemmenden Barrieren der in einem Stoff immer vorhandenen Fremdbestandteile überwinden.

Rekuperator (lat.: recuperare = etwas wieder erlangen) – *kontinuierlich arbeitender Wärmetauscher,* in dem das wärmeabgebende und wärmeaufnehmende Medium ständig fließen (s. schematische Darstellung).



Schematische Darstellung des Rekuperativsystems
A Abgas *B* Brennaggregat

Die Wärme der Abgase wird durch eine keramische oder metallische Wand an die in entgegengesetzte Richtung fließende Verbrennungsluft abgegeben; durch den stetigen Betrieb stellt sich im R. ein Gleichgewichtszustand ein.

Gegenüber dem Regenerator* hat der R. folgende Vorteile:

- gleichmäßige Vorwärmung der Verbrennungsluft,
- Wegfall von Wechselverlusten,
- einfache Bedienung,
- relativ geringer Platzbedarf,

und an Nachteilen sind zu nennen:

- geringere Vorwärmetemperatur der Verbrennungsluft,
- leichtes Undichtwerden bei keramischen R.,
- Einsatz nur für niedrige Abgaseintrittstemperaturen bei Metallrekuperatoren,
- Verwendung nur zur Luftvorwärmung.

Rekuperator-Systeme werden meist in der Kühlzone von Tunnelöfen eingesetzt und dienen allgemein der Verbesserung des Wirkungsgrades von Brennaggregaten. [168]

Relaxation (lat.: relaxare = nachlassen, mildern) – *zeitlich verzögertes Einstellen des Gleichgewichts eines Systems bei äußeren Einflüssen.*

Im allgemeinen gehorcht die Änderung der betreffenden Zustandsgröße x einem Exponentialgesetz in der Form

$$x = x_0 \, e^{-\lambda t}$$

x Zustand zur Zeit t
x_0 Zustand zur Zeit $t = 0$
λ Abkling- oder Relaxationskonstante.

Beispiel: Wird zur Bestimmung der Viskosität die Deformation eines keramischen Prüflings herangezogen, so sollte bei plötzlicher Entlastung auch die Deformation beendet sein. Tatsächlich sind aber elastische Nachwirkungen und eine verzögerte Anpassung an den neuen Zustand zu beobachten. Diese Übergangszeit stellt die Relaxationszeit dar.

Reservage (lat.: reservare = aufbewahren) – die innerhalb eines Farbfonds von Farbe freigebliebene Fläche, die bei den Porzellanen der Barockzeit meist mit Handmalereien versehen wurde.

Retardation (lat.: retardare = verzögern) – *Vorgang der allmählichen Deformationszu- bzw. -abnahme bei Vorgabe einer konstanten (mechanischen) Spannung.*

Retardationszeit – *Maß für die in einem Körper auftretende Elastizitätsverzögerung.* R. wird bestimmt durch das Verhältnis von Viskosität* η zur Elastizitätsgröße G.

s. Modell, rheologische Relaxation, Rheologie

Retuschieren – in der Engobetechnik das Beseitigen von Fehlern (entstandene Bläschen werden verrieben, Farbspritzer abgekratzt usw.), in der Formenherstellung das Nacharbeiten an den Modellen, bei den Porzellanfiguren das Anarbeiten bzw. Verfeinern von Augenbrauen, Ohrmuscheln, Händen, Knöpfen, Falten usw.

Revolverpresse (lat.: re-volvere = von neuem rollen) – *Presse mit einer sich ruckweise (durch Malteserkreuz gesteuerten) drehenden fünf- bis zehneckigen Trommel,* die mit einer entsprechend gleichen Zahl von Unterformen ausgestattet ist. Zum

Beispiel werden in zwei Preßstufen durch die mit dem Stempel auf- und niedergehende Oberform Dachfalzziegel, Ofenkacheln u. a. vor- und nachgepreßt (s. Bild). [39]

Reynolds-Zahl *(Re) – Ähnlichkeitszahl für reibungsbehaftete Strömungen.*

In einem feldstärkefreien, analog ausgebildeten Raum sind zwei Strömungen ähnlich, wenn

$Re = l_1 v_1/\nu_1 = l_2 v_2/\nu_2$

l_1, l_2 charakteristische Längen

v_1, v_2 Geschwindigkeiten

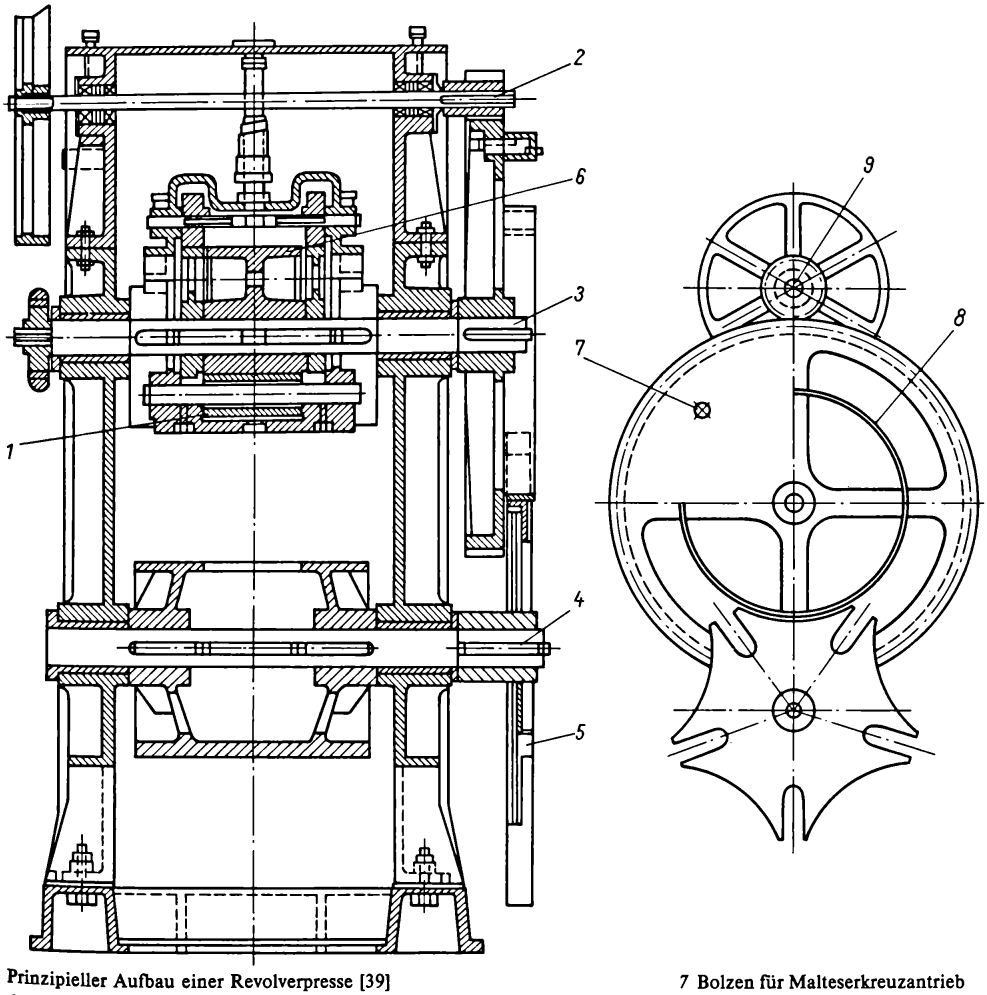
ν_1, ν_2 kinematische Viskositäten der Medien.

Die R. stellt das Verhältnis zweier Kräfte dar,
- der inneren Reibung,
- der Trägheitskraft,

und ist daher dimensionslos.

Bei niedrigen R. überwiegen die Viskositätskräfte (innere Reibung) und bei hohen R. die Trägheitskräfte. [52]

Rheologie (griech.: rhein = fließen, logos = Wort, Rede) – *Fließkunde; Lehre von den Fließerscheinungen, von den Gesetzmäßigkeiten des Fließens von Flüssigkeiten, kolloidalen Systemen und Festkörpern unter dem Einfluß äußerer Kräfte sowie*



Prinzipieller Aufbau einer Revolverpresse [39]

1 Oberform
2 Antriebswelle
3 Exzenterwelle
4 Welle mit Fünffachunterform
5 Malteserkreuz
6 Exzenter
7 Bolzen für Malteserkreuzantrieb
8 Führungsbahn für die Halterung des Malteserkreuzes
9 Antriebswelle

von der Abhängigkeit dieser Gesetzmäßigkeiten von der physikalischen und chemischen Struktur der fließenden Stoffe.

Die R. wird im wesentlichen in drei Bereiche untergliedert:

1) den physikalisch-chemischen Forschungsbereich,

2) den mathematischen Forschungsbereich auf dem Gebiet der nichtlinearen Kontinuumsmechanik,

3) den technischen Forschungsbereich. Hier interessieren unter dem keramischen Aspekt insbesondere die irreversiblen Deformationen bei den verschiedenen Formgebungsverfahren* unter Ausschluß von Rissebildungen, die Verformungsvorgänge beim Sintern* und die Verformungen beim Bruch*. Den Deformationsprozessen durch mechanische Kräfte können noch thermische und/oder Stofftransportvorgänge überlagert sein, so daß sich Zuordnungen recht kompliziert gestalten können.

Mit Hilfe der Aussagen der Rheometrie* versucht die R. rheologische Zustandsgleichungen aufzustellen, und zur Veranschaulichung entwickelt sie rheologische Modelle*.

Die grundlegenden rheologischen Phänomene sind: Elastizität*, Relaxation*, Retardation*, Viskosität*, Bildsamkeit*, Plastizität*.

Rheometrie – *Meßtechnik der Rheologie**. Sie versucht, auf experimentellem Wege aus Fließ- und/oder Deformationsvorgängen Beziehungen zwischen Spannungsdeformation und Deformationsgeschwindigkeit herzustellen. Je nach der dabei auftretenden Deformationsart werden Geräte mit homogener (auf einem Dehnungsprinzip aufbauende Meßgeräte), laminarer (Rohr- und Rotationsviskosimeter*) und zusammengesetzter (z. B. Kugelfallviskosimeter*) Verformung unterschieden. Die Meßergebnisse werden in Form rheologischer Materialfunktionen, die entweder Bestandteil phänomenologischer Theorien oder Strukturtheorien sind, dargestellt. Die wichtigste Materialfunktion ist die Viskositätsfunktion

$$\eta = f(\dot{\gamma})$$

η Viskosität

$\dot{\gamma}$ Deformationsgeschwindigkeit.

Diese Funktion ist für pseudoplastisches Fließen eine monoton fallende, für rheopexes eine monoton steigende Funktion.

Bei viskoelastischen Flüssigkeiten treten im stationären Scherversuch Zusatznormalspannungsdifferenzen auf (z. B. als *Weißenberg*-Effekt*). Weitere Materialfunktionen können aus instationären Bewegungsvorgängen (z. B. Relaxationsverhalten* u. a.) gewonnen werden.

Rheopexie (griech.: rheo = ich fließe, pexis = das Festmachen, Rheopexie = das Erstarren im Fließen) – *Zunahme der Scherviskosität bei steigender Beanspruchung (Fließverfestigung).* R. wird bei mittleren Schergeschwindigkeiten an Stoffen beobachtet, die Makromoleküle in hoher Konzentration enthalten. So erstarren z. B. Sole und Suspensionen durch mechanische Bewegung (wie Klopfen) schneller zu festen Gelen oder Massen. [52, 157]

Rheotest-Rotationsviskosimeter – *Gerät zur Messung der Viskosität* von Flüssigkeiten und Suspensionen**.* Die Meßeinrichtung besteht aus einem koaxialen Zylindersystem mit einem äußeren, feststehenden Zylinder vom Radius R, der sich zur Temperierung in einem Thermostat befindet und das Meßgut aufnimmt, und einem inneren, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit im Meßgut rotierenden Zylinder vom Radius r und der Länge l (s. Bild 1). Der innere Zylinder ist

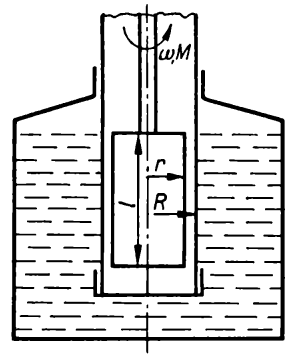


Bild 1. Koaxiales Zylindersystem

über eine Meßwelle mit einer zylindrischen Schraubenfeder verbunden, deren Auslenkung ein Maß für das am Zylinder wirksame Drehmoment M ist. Die Auslenkung des Federgliedes wird von einem in einer Brückenschaltung liegenden Widerstandspotentiometer abgetastet, wobei die Änderung des Brückendiagonalstromes proportional dem Drehmoment M des Federgliedes ist. Die Schubspannung τ und das Schergefälle (Geschwindigkeitsgefälle*) D können für das koaxiale Zylindersystem exakt berechnet werden. Beide

Größen sind im Ringspalt in radialer Richtung nicht konstant; es wird deshalb ein Radienverhältnis $\delta \leqq 1{,}3\ R/r$ angestrebt, und man bezieht die berechneten Parameter τ und D auf den Radius r des inneren Zylinders. Es gelten dann:

Schubspannung $\tau_r = M/2\pi\, l\, r^2$
Schergefälle $D = 2\omega\, R^2/(R^2 - r^2)$
Viskosität $\eta = \tau_r/D$

Bild 2 zeigt eine gebräuchliche Bauform. Mit

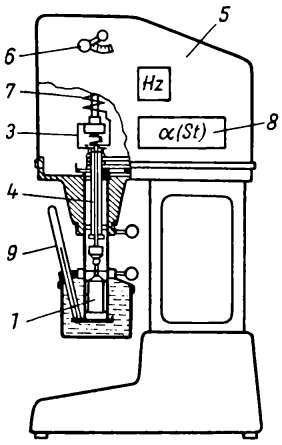
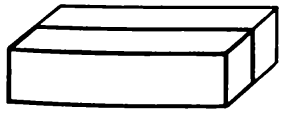


Bild 2. Rheotest-Viskosimeter
1 innerer Meßzylinder
2 äußerer Zylinder
3 Torsionsdynamometer
4 Welle
5 Gehäuse mit Getriebe
6 Geschwindigkeitswählhebel
7 Federumschaltung
8 Anzeigegerät
9 Thermometer

Hilfe eines 12stufigen Getriebes können 24 verschiedene Scherspannungen eingestellt werden. Der Meßbereich des Gerätes beträgt 10^{-2} bis 10^4 Pa s, der realisierbare Scherspannungsbereich 12 bis $3 \cdot 10^3$ Pa, der Bereich des Geschwindigkeitsgradienten umfaßt 0,2 bis $1{,}3 \cdot 10^3\ s^{-1}$, die Prüftemperatur kann von 30 bis 150 °C geregelt werden. [442]

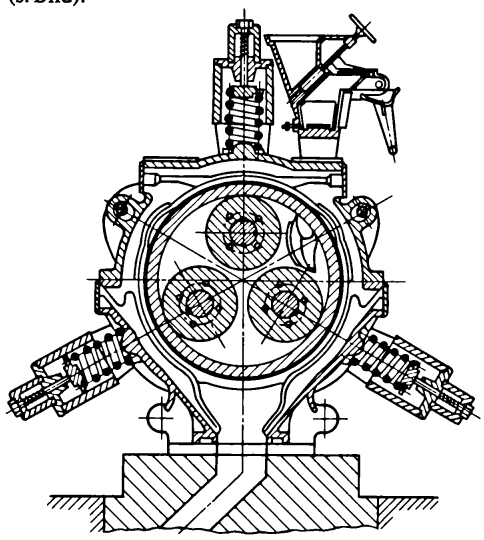
Riemchen (Meisterquartier) – *längsgeteilter Normalstein* mit den Maßen 65 × 65 × 250 mm bzw. 55 × 5,5 mm, dient als Ausgleichstein oder zur Verkleidung von Mauerflächen (s. Bild).



Riemchen oder Meisterquartier

Ringmühle – *Maschine, bei der Wälzkörper (Mahlkörper) auf einer Mahlbahn abrollen und so das Mahlgut durch Druck und Reibung (Scherung bzw. Abriebwirkung) zerkleinern.*

1) Bei *Walzenringmühlen* bewegen sich ortsfeste ballige Mahlwalzen unter Federdruck auf dem Innenmantel eines senkrechten, den Walzen aufliegenden Mahlringes. Der Mahlring läuft um; zerkleinert werden mittelharte bis weiche Stoffe (s. Bild).



Walzenringmühle, Bauart VEB Hartzerkleinerungsmaschinen Zwickau

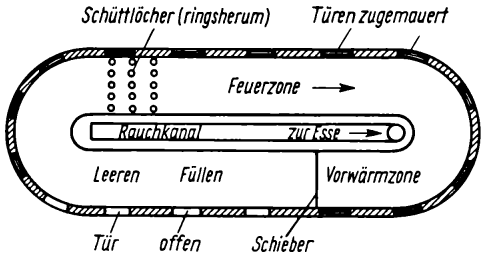
2) Bei *Federrollenmühlen* (nach *Loesche*) rollen zwei ortsfeste kegelige Mahlwalzen unter starkem Federdruck auf einer rotierenden horizontalen Mahlbahn ab. Diese Mühlen werden zum Grob- bis Feinmahlen vorzerkleinerter, trockener, mittelharter bis harter Stoffe (Kohle, Kaolin u. a.) verwendet.

3) *Fliehkraftrollenmühlen* bestehen aus zwei bis drei an Pendelstangen hängenden Mahlwalzen, die um die Mühlenachse kreisen, durch die Fliehkraft gegen den Innenmantel eines horizontal ruhenden Mahlringes gepreßt werden und auf diesem abrollen. Weiche bis mittelharte Stoffe können so zerkleinert werden.

4) *Federkraft-Kugelmühlen* (nach *Fuller* und *Peters*) haben einen unteren, rotierenden und einen oberen, ruhenden, durch Federn angepreßten Mahlring. Zwischen beiden rollen Stahlkugeln, die das Mahlgut auf dem unteren Mahlring zerkleinern

(Gipsstein, Zementklinker u. a.). Warmluft trocknet das Gut. R. arbeiten in der Regel mit Windsichtung.

Ringofen – *ein kontinuierlich arbeitender, ringförmig angelegter keramischer Brennofen mit wandernder Brennzone und feststehendem Brenngut* (Ziegel u. a. grobkeramische Erzeugnisse; s. Bild). Das Brenngut wird mit Hilfe entsprechender Transporteinrichtungen in die *Leerzone* gebracht und dort gestapelt. Die Temperaturen sollen dabei möglichst unter 45 °C liegen. In der *Anwärmzone* erreicht das Brenngut durch die Speicherwärme des Mauerwerks etwa 40 bis 50 °C. In der *Schmauchzone* wird das Restwasser (2 bis 10 %) aus den Formlingen ausgetrieben. Das geschieht durch Einleiten von Warmluft aus der Kühlzone in die beiderseits abgeschieberte Kammer. Bei Vorhandensein einer guten Trockenanlage kann diese Zone wegfallen. Zwischen Schmauch- und Brennzone liegt die *Glockenzone*, so bezeichnet nach den Glocken- oder Rauchgasventilen. Die heißen Rauchgase umspülen hier die Formlinge, so daß sie auf etwa 580 °C erhitzt werden. In der *Feuer-* oder *Brennzone* wird der Brennstoff durch in der Decke befindliche Schürlöcher (Schüraggregate) zwischen die als Roste gesetzten Stapelschichten geschüttet. Eine entsprechende Setzdichte sichert eine relativ gleichmäßige Brennqualität. In der Kühlzone wird das fertige Brenngut durch Luft, die zum Verbrennungsprozeß benötigt wird, abgekühlt. Die R. werden immer mehr durch Tunnelöfen abgelöst.



Ringofen (Schema)

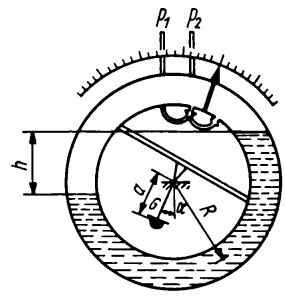
s. Gaskammerringofen, Zickzackofen

Ringspannungsprüfung nach *Schurecht* – *Verfahren zur Beurteilung der Spannungsdifferenz zwischen Scherben und Glasur.* Aus der zu beurteilenden Masse werden Ringe (∅ etwa 5 cm) von quadratischem Querschnitt angefertigt und außen mit der zu prüfenden Glasur überzogen. Anschließend wird aus dem Ring ein Stück (0,5 bis 1 cm) herausgeschnitten, so daß ein offener Ring entsteht. Aus den Veränderungen des Ringes nach dem Brande sind Aussagen über den Sitz der Glasur möglich:

- Ring öffnet sich, damit ist $WAK_{\text{Glasur}} > WAK_{\text{Scherben}}$, d. h. Neigung zur Haarrissigkeit,
- Ring schließt sich, damit ist $WAK_{\text{Glasur}} < WAK_{\text{Scherben}}$, d. h. Neigung zur Kantenabsprengung.

[100]

Ringwaage – *Gerät zum Messen kleiner Gasdrücke.* Die R. besteht aus einem Hohlring, der in seiner Mittelachse auf einer Schneide gelagert ist. Der Hohlring ist zur Hälfte mit einer Sperrflüssigkeit gefüllt und trägt unten ein Gegengewicht. Eine Trennwand teilt den Ring in zwei Kammern. Bei Messungen wird eine Kammer mit der Atmosphäre und die andere mit dem Gasdruckraum verbunden. Dabei verschiebt sich die Sperrflüssigkeit bei gleichzeitiger Drehung des Ringrohres. Der Druck kann an einer Skala abgelesen werden.



Kräfte an der Ringwaage
$M_t = (p_1 - p_2)\,A\,R$
M_t Drehmoment (in Ncm)
p_1, p_2 Druck an den Anschlüssen (in MPa)
A Fläche des Ringquerschnitts (in cm²)
R mittlerer Radius des Ringes (in N)
G Gegenkraft (in kp)
a Hebelarm (in cm)
α Drehwinkel
(In Rechnungen ersetzt man der Einfachheit halber oft die Druckdifferenz durch den Wert $h = p_2 - p_1$)

Kräfte an der Ringwaage

Das Drehmoment an R. entspricht dem Produkt aus Druckdifferenz p, Rohrquerschnitt A und Radius des Ringrohres R.

Das Gegendrehmoment entspricht dem Produkt aus Gegengewicht G, Hebelarmlänge a und Drehwinkel α. Daraus resultiert die Gleichgewichtsbedingung

$$G\,a \sin\alpha = k(p_1 - p_2)\,A\,R$$
$$\sin\alpha = K\,\Delta p$$

k, K Konstante.

Die Meßgrenzen einer R. werden von der Dichte der Sperrflüssigkeit und von der des Mediums gemeinsam bestimmt; der Verdrehwinkel α des Ringes ist jedoch von den Dichten unabhängig. Für die Messung von Differenzdrücken gibt es:

- Niederdruckgeräte; im allgemeinen mit Wasser als Sperrflüssigkeit und einer oberen Meßgrenze von 1,5 kPa,
- Hochdruckgeräte; im allgemeinen mit Quecksilber als Sperrflüssigkeit und einer Meßgrenze von 10 kPa.

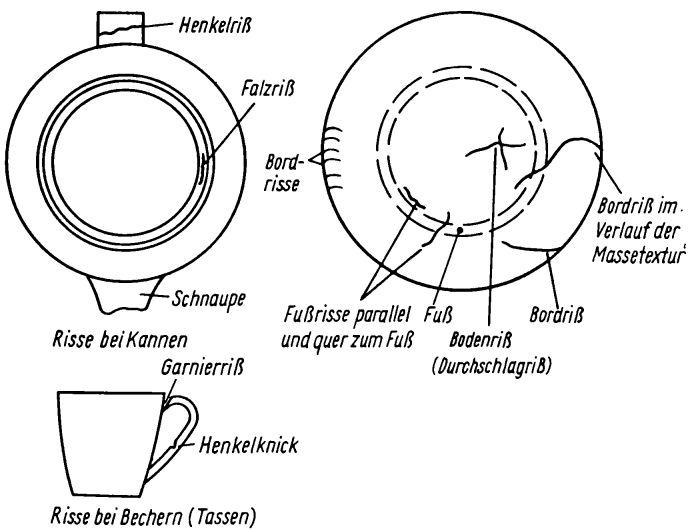
***Rinmanns* Grün** (Türkisgrün, Cobaltgrün) – durch Glühen von Zink- und Cobaltsalzen hergestellte feste Lösung von Cobaltoxid in Zinkoxid verschiedener Zusammensetzung.

Rinnenviskosimeter – *eine aus Hartporzellan, Sinterkorund oder anderem keramischem Material bestehende Platte, in der mehrere Rinnen ausgespart sind.* Die Rinnen enden oben in einer Kugelkalotte, die zur Aufnahme der Untersuchungssubstanz (Glasuren, Feldspat) dient. Die Platte wird unter einer Neigung von etwa 45° in den Ofen gestellt und erhitzt. Die Länge der Fließstrecke dient als Maß für das Fließverhalten des Stoffes.

Risse – *Fehler an keramischen Körpern, die entstehen, wenn auftretende Spannungen die Festigkeit übersteigen* (s. Bild). Nach dem Zeitpunkt des Entstehens kann man u. a. Preß-, Trocken-, Brenn-, Kühl-, Glasurrisse unterscheiden. *Preßrisse* ergeben sich bei zu schnellem Ansteigen des Preßdruckes, bei zu hohem Preßdruck. *Trockenrisse* sind auf Spannungen im Formling durch zu schnelles oder ungleichmäßiges Trocknen (ungleichmäßiges Schwinden), zu unterschiedliche Scherbendicke am gleichen Stück, bei Ziegeln auch auf unterschiedliche Masseschichten, unvollständige Entlüftung, mangelhafte Formgebung u. a. zurückzuführen. *Brennrisse* haben ihre Ursache in einem zu schnellen Temperaturanstieg, besonders zwischen 430 und 600 °C.

Kühlrisse bilden sich bei zu schnellem Abkühlen. *Glasurrisse* ergeben sich, wenn der AK der Glasur größer als der des Scherbens ist. Zugspannungen führen dabei zu einem mehr oder weniger engmaschigen Netz von R. *Druckspannungsrisse* liegen vor allem parallel zur Oberfläche und führen zu schuppenförmigen Abplatzungen.

Netzartig an der Oberfläche von Ziegeln verlaufende R. ergeben sich bei sehr feucht verformten Formlingen (Gießlingen) oder auch bei schlecht abgestimmten und zu schnell getrockneten En-



Typische Formen von Rissen bei feinkeramischen Erzeugnissen

goben. R. am Boden von Bechern und Tellern können auch bei der maschinellen Formgebung entstehen, wenn die Masse zu weich oder zu hart, das Rollerwerkzeug ungenügend beheizt, ein ungenügendes Vakuum vorhanden ist, die Umdrehungszahl der Spindel ungünstig ist, die Schablone nicht richtig eingestellt wurde u. a.

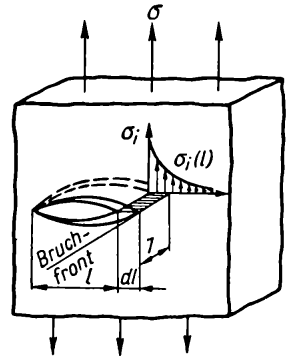
Risse, bruchauslösende – *mechanische Baufehler* in Festkörpern*, die als Kerbstellen fungieren und insbesondere die mechanische Festigkeit von Werkstoffen herabsetzen.*

Alle realen Kristalle bzw. Werkstoffe weisen Baufehler verschiedener Art auf; diese Inhomogenitätsstellen kann man als *Primärrisse* auffassen. Der Bruch* eines Festkörpers wird immer an einer derartigen Schwachstelle beginnen und sich von dort ausbreiten. Zur Ausdehnung eines bereits vorhandenen primären Risses über den gesamten Querschnitt ist dann nur noch eine mittlere spezifische Beanspruchung notwendig, die im allgemeinen um Größenordnungen kleiner als die theoretische Trennfestigkeit* liegt. Im Jahre 1920 formulierte *Griffith* eine Energiebedingung für die Rißfortpflanzung beim Sprödbruch; danach stammt die zur differentiellen Rißfortpflanzung erforderliche Arbeit zum Aufbau der freien Grenzflächenenergie* aus der Formänderungsenergie, die vor Beginn der Rißfortpflanzung gespeichert wurde. Daraus leitet sich dann eine Grenzrißlänge ab, die als sog. *Griffith*-Länge bezeichnet wird. Bei Überschreiten der *Griffith*-Länge überwiegt der Abbau der elastischen Energie, und der Bruch schreitet aufgrund des Vorrates an elastischer Energie von selbst fort. Diese *Griffith*-Bedingung kann folgendermaßen formuliert werden (s. Bild):

$$G_a = \frac{\partial U_a}{\partial l} = 2\gamma_{sg}$$

G_a spezifische Rißausbreitungsenergie, d. h. die je Einheit der Bruchfläche zur Rißausbreitung angebotene Energie
U_a gespeicherte, auf die Längeneinheit der Rißfront bezogene elastische Formänderungsenergie
l Rißlänge
γ_{sg} spezifische freie Grenzflächenenergie.

Die Begrenzungslinie des Risses zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Rißfortschrittes heißt *Rißfront*; der Riß selbst breitet sich senkrecht zur Rißfront aus.



Schematische Darstellung des *Griffith*schen Beanspruchungsmodells nach *Rumpf*
vor Rißbildung
$l = 0$ $\sigma_1(l = 0)$
$U_a(l = 0)$
nach Rißbildung
l $\sigma_1(l)$
$U_a(l)$

Ein weiterer Aspekt der Rißfortpflanzung ist der Einfluß des umgebenden Mediums, etwa ein Herabsetzen der spezifischen freien Grenzflächenenergie durch Adsorption von oberflächenaktiven Flüssigkeiten (*Rebinder*-Effekt*). Eine derartige Einwirkung ist bei langsamer Bruchphase sicher nicht auszuschließen, bei hohen Rißfortpflanzungsgeschwindigkeiten ist eine derartige Einwirkung jedoch nicht wahrscheinlich. [15, 43, 330, 475, 476]

Rißwiderstandskraft (*R*) – *Materialkonstante, die den Rißfortschritt innerhalb eines Werkstoffes bei definierter Belastung angibt,* meist dargestellt in sog. *R*-Kurven (s. Bild 1). Die Prüfung wird im Zugversuch oder mit Dreipunktbiegung ausgeführt. Es gelten:

$$R = K_{Ic}^2(1 - \nu^2)/E = 2\gamma_{eff} = \Delta U_R / b\,\Delta a,$$
$$K_{Ic} = \sigma_B\, Y \sqrt{a}$$

K_{Ic} kinetischer Spannungsintensitätsfaktor*
$(1 - \nu^2)$ ebener Spannungszustand (ν *Poisson*-Konstante)
γ_{eff} effektive Oberflächenenergie
σ_B Bruchspannung
Y Geometriefaktor
a künstlischer Anriß mittels Diamantsäge
Δa Rißfortschritt
ΔU von außen zugeführte Energie
b Probenbreite.

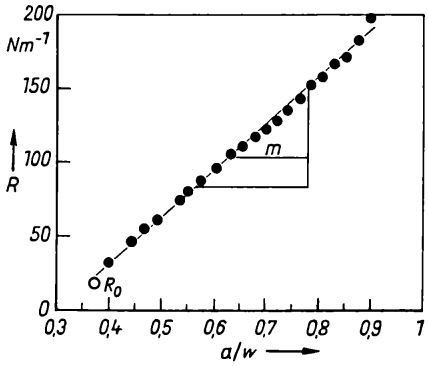


Bild 1. *R*-Kurve (nach *Knehans*)
a Rißtiefe
w Probenhöhe
m Anstieg

Die Verfolgung des Rißfortschrittes kann erfolgen durch

- Messung der Steifigkeit; Bild 2 zeigt die Anordnung nach der Dreipunktbiegung, Bild 3 die

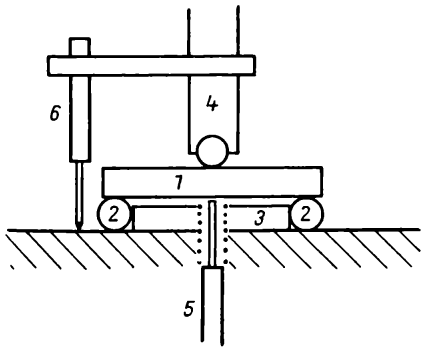


Bild 2. Meßanordnung 3-Punkt-Biegung
1 Probe
2 Auflagenrollen
3 Abstandshalter
4 Druckstempel
5 Wegmessung unten
6 Wegmessung oben

Anordnung im Zugversuch (Zum besseren Erkennen wird ein Meßmikroskop mit Schrägbeleuchtung herangezogen.),

- gleichzeitiges Filmen von Probe mit Riß und Kraftanzeigeinstrument der Prüfmaschine während der Prüfung,
- Farbeindringverfahren; Rißsichtbarmachung mittels Tinte oder Gemischs aus Glycerin und Wasser (wegen eventueller Spannungsrißkorrosion* jedoch nur beschränkte Aussage),

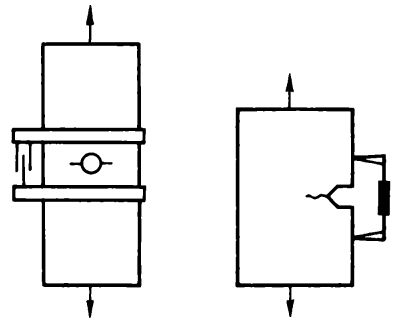


Bild 3. Mögliche Meßanordnungen beim Zugversuch

- Widerstandsmessung, wobei an zwei Punkten auf den beiden Seiten des Risses der Probe entweder die angelegte elektrische Spannung *U* oder der Widerstand *R* gemessen wird. [43, 543]

s. Bruchenergie, Dauerfestigkeit.

Rocaille – *ein muschelförmiges* (frz. für Muschel) *Ornament* (Grotten- oder Muschelwerk), das u. a. beim Barockporzellan des 18. Jh. eine Rolle spielte.

Rohbruchfestigkeit – *s.* Trockenbruchfestigkeit

Rohdichte – *s.* Dichte

Rohglasur – eine Glasur, deren Rohstoffe im natürlichen Zustand eingeführt werden, d. h., sie sind nicht vorgefrittet und müssen wasserunlöslich sein. R. werden insbesondere für Hartporzellane verwendet. Die Segerformel* hat etwa folgende Zusammensetzung:

$RO \cdot 0{,}5$ bis $1{,}2\ Al_2O_3 \cdot 6$ bis $12\ SiO_2$

Rohstoffe für R. sind Sand, Kaolin, Feldspat, Kalkspat, Magnesit, Dolomit, Speckstein und evtl. unlösliche Borate. Der Glasurschlicker darf auf einem Sieb mit einer Maschenweite von 63 µm keinen Rückstand haben.

s. Lehmglasuren

Rohkaolin – *natürliches Zersetzungsprodukt feldspathaltiger Gesteine*, das neben Quarz und anderen Gesteinsrelikten die verschiedensten Tonminerale* enthält.

R. wird im allgemeinen nicht direkt verarbeitet, sondern einem Aufbereitungsprozeß unterworfen, bei dem Quarz und die anderen unerwünschten Bestandteile weitgehend abgetrennt werden. Die Aufbereitung des R. kann auf nassem oder trockenem Wege erfolgen. Beide Verfahren weisen Vor- und Nachteile auf, z. Z. überwiegt die nasse Auf-

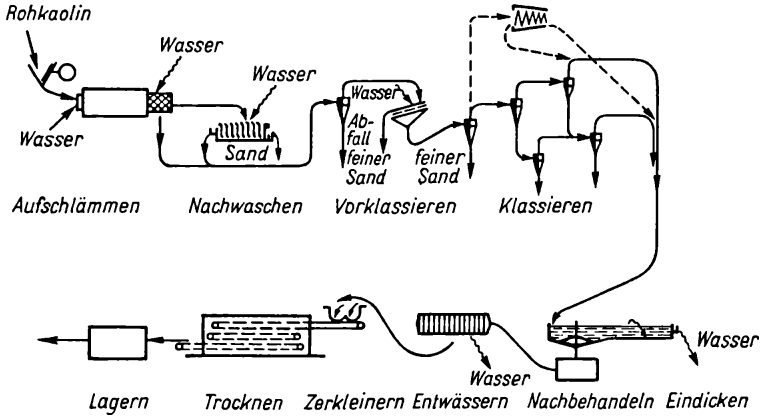
bereitung. Grundsätzlich sind die Verfahrensschritte Läuterung – Klassieren – Entwässerung erforderlich (s. Bild).
Vielfach wird der Begriff R. zur Unterscheidung zum bereits aufbereiteten Feinkaolin* gebraucht. [473, 474]

Rohling – *allgemeine Bezeichnung für das frischgeformte keramische Stück*, den noch unverputzten, noch nicht verschnittenen, noch nicht garnierten bzw. bossierten keramischen Gegenstand. Häufiger wird die Bezeichnung *Formling* dafür verwendet.

Rohstoffkennblatt – *Zusammenstellung aller Kenndaten eines Rohstoffes*, die für den Verbraucher im Hinblick auf Einsatz und Verwendungsmöglichkeiten wichtig sind. Das R. sollte ausweisen:
- Lieferbetrieb,
- Fundort,
- geologische und petrographische Charakteristik,
- Mineralanalyse,
- Feuchtigkeitsgehalt,
- Anmachwasserbedarf,
- Siebrückstand auf den Sieben 200, 90 und 63 µm,
- Korngrößenspektrum,
- rationelle Analyse,
- chemische Analyse (einschließlich Spektralanalyse),
- Trockenverhalten (Trockenschwindung, Trokkenbiegefestigkeit),
- Brennverhalten (Brennschwindung, Brennfarbe, Wasseraufnahme),
- Kegelfallpunkt (nur für feuerfeste Tone),
- Bildsamkeit (*Pfefferkorn, Rieke, Atterberg, Enslin* u. a.),
- Gießbarkeit,
- *p*H-Wert des Schlickers,
- lösliche Salze.

Bei den einzelnen Angaben werden die Untersuchungsmethoden, die Bearbeitungsstelle und ggf. Literaturhinweise hinzugefügt.

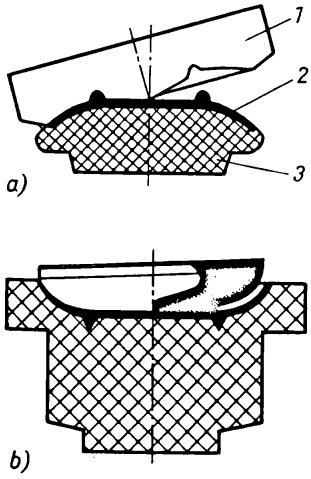
Rollenofen – *Durchlaufofen, bei dem der Transport des Brenngutes durch den Ofen über ein Rollensystem erfolgt.*
R. zählen zu den Schnellbrandöfen. Im Unterschied zu den Tunnelöfen*, bei denen das Brenngut auf Wagen durch den Ofen geschoben wird, gleitet es hier auf einem Rollenteppich durch den Ofenkanal. R. sind besonders zum Brennen von Fliesen geeignet, die ohne jedes Brennhilfsmittel von den Rollen transportiert werden. Andere Artikel, die keine so breite Standfläche aufweisen, werden auf perforierten feuerfesten Trägerplatten über Rollen durch das Feuer geschoben. Dadurch entfallen Kapseln und ein aufwendiger Regalaufbau, wodurch ein Verhältnis von Brenngut zu Brennhilfsmitteln von etwa 1:1 erreicht wird (bei herkömmlichen Öfen liegt dieses Verhältnis etwa bei 1:7).
Die Rollen sind quer zur Fahrtrichtung angeordnet und werden außerhalb des Ofens angetrieben. Die Drehgeschwindigkeit richtet sich nach dem für die Ware erforderlichen Brennzyklus. An die Rollen werden hohe thermische und mechanische Forderungen gestellt; sie bestehen bei Bränden bis etwa 1 050 °C aus Stahl, für höhere Temperaturen aus Spezialkeramik.
Die Beheizung der R. erfolgt mit Gas; sie sind für



Naßaufbereitung von Kaolin (nach *Trawinski*)

oxydierende und reduzierende Brände einsetzbar.
Temperaturen und Durchlaufgeschwindigkeiten können schnell verändert werden, wodurch eine flexible Anpassung an ein breites Produktionssortiment möglich ist.
Durch Anordnung der Brenner oberhalb und unterhalb des Rollensystems können die Flammen das Brenngut unmittelbar und von allen Seiten gleichmäßig umspülen. Hierdurch werden die Brennzeiten im R. stark verkürzt; der Energieverbrauch wird drastisch gesenkt, was letztlich zu einer Minderung der Schadstoff-Emissionen führt. [471, 472, 479]

Roller – *Kurzbezeichnung für Formgebungsmaschinen zur Herstellung rotationssymmetrischer Erzeugnisse aus Steingut, VC, Porzellan u. a.*, bei denen



a) Scherbenschnitt mit Rollerwerkzeug und Gipsform
1 Rollerwerkzeug, 2 Scherben, 3 Gipsform
b) Scherbenschnitt und Rollerwerkzeug beim Einformen einer Schale [39]

nicht nur die Drehspindel angetrieben wird, sondern z. T. auch die Vollschablone. Die Spindel weist immer die größere Drehzahl auf. Die Maschine besteht aus

- dem eigentlichen Antriebsteil mit Hauptsteuerwelle, auf ihr angebrachten Kurvenscheiben usw.,
- dem Drehtisch mit den Aufnahmen für die Gipsformen (ein Malteserkreuztrieb steuert die rhythmisch unterbrochene Drehbewegung),
- der Vakuumanlage für die Entlüftung der auf- bzw. eingelegten Massescheiben und für das Festhalten der Gipsformen,
- dem Ausformteil mit Rollerkopf, Vollschablone und ggf. der Heizung.

Man kann zwei Haupttypen unterscheiden:
1) Flachgeschirroller (flache und tiefe Teller, Schüsseln) mit und ohne Vorformung eines Blattes, mit einem oder mehreren Rollerwerkzeugen, mit festem oder Drehtisch, mit und ohne vollmechanische Dosierung über Zuteilgerät,
2) Becherroller mit ähnlichen Varianten. Eine Weiterentwicklung zeigt sich in den Flachgeschirr- und Bechertaktstraßen, wie sie zunehmend in keramischen Großbetrieben im Einsatz sind. (s. Bild) [39]

Rollglasieren – *manuelles Tauchglasieren* mit Drehbewegung des Rohlings um seine Längsachse beim Eintauchen und Herausführen aus der Glasurwanne.

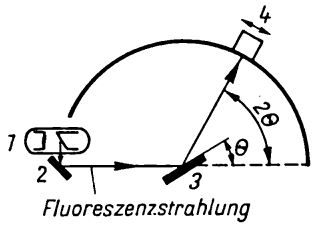
röntgenamorph – Bezeichnung dafür, daß die Röntgenanalyse zwar keine Spuren kristalliner Substanz nachweist, die Probe in ihrem Aufbau aber vom amorphen, d. h. völlig ungeordneten Zustand noch verschieden sein kann.

Röntgenanalyse – *s. Debye-Scherrer*-Verfahren

Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA; lat.: fluor = Strömung) – *ein an kompakten, pulverförmigen und flüssigen Proben durchführbares Analysenverfahren*, bei dem die möglichen inneren Energieübergänge der Atomhüllen eines Elements durch primäre Röntgenstrahlen (Kaltanregung) zu ihrer charakteristischen Eigenstrahlung (Fluoreszenzstrahlung) angeregt werden.
Das Prinzip der RFA besteht darin, die gesamte Eigenstrahlung der Probe als Gemisch unterschiedlicher Wellenlängen mit verschiedenen Intensitäten spektral zu zerlegen und separat zu registrieren. Die Bestimmung der Wellenlängen λ bzw. der Quantenenergien der Fluoreszenzstrahlung ermöglicht qualitative Aussagen über die Anwesenheit von Atomen bzw. Ionen eines bestimmten Elements in der Probe. Über die Intensitätsmessung jeder elementspezifischen Fluoreszenzstrahlung der Probe erhält man quantitative Angaben zur Konzentration der Elemente im Probenmaterial.
Die spektrale Zerlegung der Fluoreszenzstrahlung kann erfolgen:

- *winkeldispersiv*

Dazu wird eine (dem Zählrohrverfahren vergleichbare) Goniometeranordnung benutzt (s. Bild). Die spektrale Zerlegung der Fluores-



Winkeldispersive RFA in Graviometeranordnung
1 Röntgenröhre
2 Probe
3 Analysatorkristall
4 Zählrohr
θ Glanzwinkel

zenzstrahlung zur qualitativen Identifizierung der Elemente geschieht mittels eines Analysatorkristalls. Zur quantitativen Aussage wird dann die Intensität von Einzellinien (Peaks) gemessen.

– *energiedispersiv*
Hier tritt an die Stelle eines Analysatorkristalls ein HL-Detektor. Die von ihm erzeugte elementspezifische Impulsverteilung wird in einem Vielkanalanalysator für den gesamten Spektralbereich gespeichert, so daß am Ende das gesamte Spektrogramm für die Auswertung zur Verfügung steht.

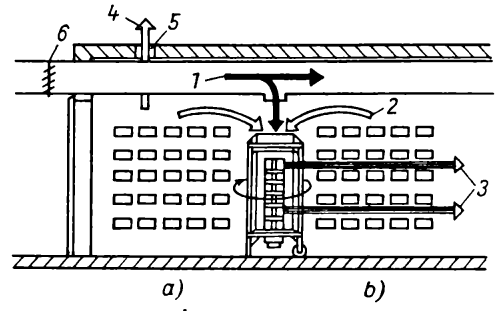
Die RFA hat sich als Methode zur Elementanalyse im Ordnungszahlbereich $9 \leqq Z \leqq 92$ bei Konzentrationen von einigen ppm bis praktisch 100 % bewährt. In Abhängigkeit vom Konzentrations- und Ordnungszahlbereich sowie von der Qualität äußerer Standardproben sind Analysengenauigkeiten bis zu 0,2 % (relative Standardabweichung) bei einer Analysendauer in der Größenordnung von 1 min erreichbar. [117]

s. Elektronenstrahlmikroanalyse

Rotationsviskosimeter – *s.* Rheotest-Viskosimeter

Rötel – erdiges, bräunlich- bis blutrotes, stark abfärbendes Gemisch aus rotem Eisenocker und Ton mit roter Brennfarbe.

Rotormixair-Verfahren (lat.: rota = Rad, mixtus = gemischt; griech.: aer = Luft) – *ein Trocknungsverfahren,* bei dem durch einen oben angebrachten Axialventilator einerseits Raumluft aus der Umgebung, andererseits Warmluft aus einem Zuführungskanal angesaugt wird. Diese beiden Luftmengen werden gemischt und mit großer Geschwindigkeit aus dem mit Leitblechen versehenen Schlitz eines sich langsam um die eigene Achse drehenden Blechmantels geblasen. Durch den umlaufenden Luftstrahl wird das Trockengut in einem konstanten Rhythmus angeblasen. Die Trockenspannungen bleiben gering, da sich die Feuchtedifferenz zwischen innen und außen durch Nachwandern der Feuchtigkeit aus dem Inneren des Formlings nach dem Anblasen verringern kann. (s. Bild)



Rotormixair-Trockner (Impulstrockner), schematisch
a) Formlinge in der Ruheperiode
b) Formlinge in der Anblasperiode
1 Warmluft
2 Umluft
3 Luftgemisch
4 Abluft
5 Öffnung ohne Klappe
6 Regulierklappe

Rubin – durch geringe Mengen von Cr_2O_3 rot gefärbter Korund (Edelstein). R. wird heute in großem Umfange synthetisch hergestellt.
Verwendung: Lasertechnik.

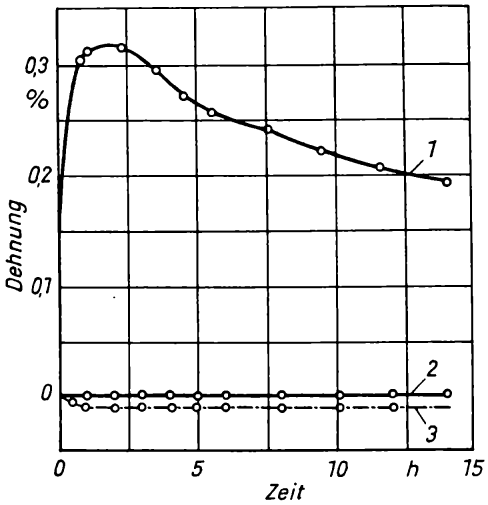
Rubinglimmer – *s.* Eisenhydroxide

Rückdehnung, elastische – *ein bei isostatisch gepreßten Artikeln zu beobachtender druck- und zeitabhängiger Dehnungseffekt der Preßlinge nach der Entspannung,* der sich in einem Festigkeitsverlust äußert.

Beim isostatischen Preßvorgang wird im Preßling elastische Energie gespeichert. Unmittelbar nach der Entlastung beginnt eine elastische Rückfederung. Soweit die Masse Tonminerale enthält, dürfte deren Elastizität und Deformation eine Rolle dabei spielen. Ein größerer Teil der elastischen Energie bleibt jedoch im Gefüge des Preßlings erhalten, da sich die einzelnen Granalienoberflächen untereinander verhaken.

Dringt nun Wasser in die feinen Kapillaren des Preßlings ein, etwa Wasserdampf aus der Atmosphäre oder beim Glasieren, wird die äußere Granulationsschicht benetzt, und eine Entspannung der elastischen Energie kann einsetzen, d.h., die Grenzschicht löst sich aus der Verankerung, die e.R. wird makroskopisch meßbar. Vorgeglühte Preßpulver zeigen den Effekt der e. R. nicht (s. Bild). [334]

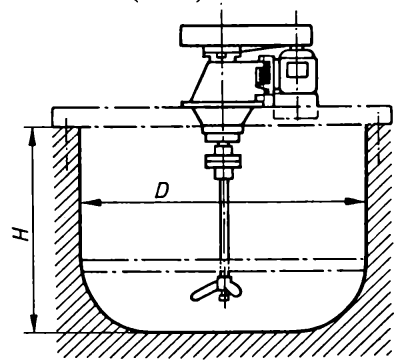
s. Kapillarität, Gedächtnis der Massen



Rückdehnung nach *Dietzsch* [477]
1 isostatisch gepreßt, $p = 140$ MPa, roh, $F = 0{,}5$ %
2 isostatisch gepreßt, $p = 140$ MPa, geglüht, $F = 0{,}5$ %
3 bildsam verarbeitet
F Feuchtigkeit

Rücklaufmasse – *bei den verschiedenen Formgebungsverfahren entstehende, technisch nicht vermeidbare Abfälle* (z.B. die Massespäne an der Kopiermaschine, aber auch wieder aufgelöster Rohbruch), die der Verwendung wieder zugeführt werden. R. hat mindestens einmal den gesamten Aufbereitungsprozeß durchlaufen und dabei die für den Formgebungsprozeß erforderlichen Eigenschaften angenommen. Dabei wurde sie aber mit Öl, Gips u.a. verunreinigt, so daß bei ihrem Vermischen mit der aus den Rohstoffen aufbereiteten sog. Frischmasse bestimmte Relationen zu beachten sind.

Rührwerk (Quirl) – *Aggregat zum Dispergieren* und Mischen keramischer Pulver* – verfahrenstechnisch als Dispergierer bezeichnet – *und zum Rühren von Suspensionen* – verfahrenstechnisch als Rührer bezeichnet. Grundsätzlich besteht ein R. aus einem Rührbehälter und der Rührschraube, wobei der Rührbehälter meist bauseitig aus Beton erstellt wird (s. Bild).



Rührwerk

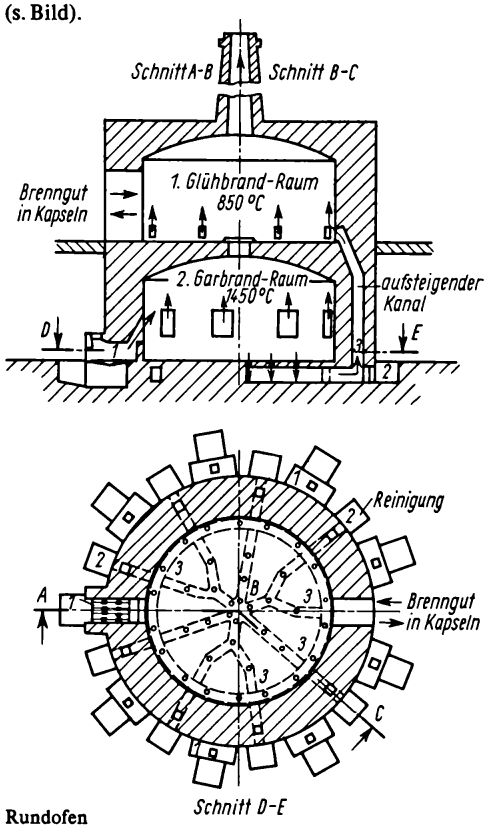
Man unterscheidet je nach dem Rührertyp Schrauben-, Schrägblatt-, Anker-, Band-, Schnekken- sowie den langsam laufenden Rechenrührer. In der keramischen Industrie werden vorwiegend Schraubenrührer eingesetzt, welche von Laborgrößen (200 l) bis etwa 30 m³ Behälterinhalt üblich sind. Sie sind sowohl als Dispergierer wie auch als Rührer einsetzbar und unterscheiden sich hierbei durch Drehzahl und Bodenfreiheit der Rührschraube.

- Ein *Dispergierer* überführt die in Stücken angelieferten bildsamen Rohstoffe in eine wäßrige Suspension, den sog. Schlämmversatz, mischt den Trommelversatz (Sand, Feldspat u. a.) mit dem Schlämmversatz und überführt die Filterkuchen für die Gießmasse in eine wäßrige Suspension. Seine Drehzahl und die Bodenfreiheit der Rührschraube sind doppelt so groß wie die eines Rührers gleicher Baugröße.
- Ein *Rührer* sorgt für die Homogenität im Fluid, er vermischt verschiedene Suspensionen und wird meist in Vorratsbehältern eingesetzt.

[112]

Rundbeschicker – *eine Vorrichtung zum Egalisieren und Weiterleiten eines Massestromes zu nachfolgenden Arbeits- bzw. Formgebungsmaschinen.* Unter einem frei stehenden Einschüttzylinder mit verstellbarer Austrittsöffnung rotiert ein Teller (etwa 3 min^{-1}), der auf einem Kugellaufring oder auf Tragrollen läuft und mit einem außenliegenden Abstreicher versehen ist.

Rundofen – *ein diskontinuierlich arbeitender keramischer Brennofen von rundem Querschnitt, der in der Regel aus zwei Etagen besteht.* Unten erfolgt der Glatt-, oben gleichzeitig der Glühbrand. In einer evtl. dritten Etage kann der Kapselglühbrand o. a. erfolgen. Am Umfang des Ofens sind unten gleichmäßig 6 bis 10 Feuerungen verteilt (je nach Brennzeit, -gut, Brennraumvolumen). Auf der Herdfläche befinden sich Abzugslöcher, durch die die Rauchgase in Kanälen in den oberen Brennraum und von dort in den Schornstein gelangen. Unten wird mit überschlagender, oben mit aufsteigender Flamme gebrannt. Das Füllen und Entleeren des in Kapseln befindlichen Brenngutes erfolgt manuell oder mit einfachen mechanischen Hilfsmitteln. In Großbetrieben ist der R. vom Tunnelofen abgelöst worden, während sich in Kleinbetrieben der Herdwagenofen o.ä. durchsetzt (s. Bild).



Rundofen
1 Feuerung
2 Öffnung zur Reinigung der Sohlkanäle
3 Sohlkanal
4 Schieber

Rutil (TiO_2, stabile Form; lat.: rutilus = rötlich)
Kristallographie: tetragonal; schwach pleochroitisch
Physikalische Eigenschaften: dunkelgelb, braun, selten farblos; $H = 6$ bis 7; $D = 4{,}26\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\varepsilon = 2{,}903$, 2,889, $n_\omega = 2{,}616$, 2,603, $\Delta n = +0{,}287$, +0,286; $DK = 173$ (∥ *c*-Achse), 89 (⊥ *c*-Achse), $AK_{therm.} = 9{,}19 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (∥ *c*-Achse), $7{,}14 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (⊥ *c*-Achse), $T_S = 1\,560$ bis 1 825 °C (je nach Reinheit);
Verwendung: Rohstoff für Kondensatormassen, besonders von Ferroelektrika.
Wegen seiner extrem hohen Lichtdispersion und hohen Schmelztemperatur wäre R. als Weißtrübungsmittel interessant. Infolge verschiedentlicher Beimengungen von Fe, Sn, V, Cr, Nb, Ta ist er jedoch bei Einbrenntemperaturen oberhalb 900 °C selten farblos. Wichtiger ist deshalb die Nutzung des Rutilgitters als Wirtsgitter* für die Farbkörper:

$Ti(W, Cr)O_2$ – goldbraun	$Ti(Sb, V)O_2$ – grau
$Ti(Sb, Mn)O_2$ – rotbraun	$Ti(Ni, Sb)O_2$ – gelb.
$Ti(Cr, Sb)O_2$ – braun	

[336]

Rüttelsieb – *s.* Vibrationssieb

S

Salzglasur – *für Steinzeug typische Anflugglasur.* Zu ihrer Gewinnung wird in der Periode des Scharfbrandes Kochsalz auf das glühende Kohlenbett gegeben. In Gegenwart von Wasserdampf reagiert das Kochsalz zu HCl und Na_2O; letzeres bildet auf der Scherbenoberfläche eine Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-haltige Schmelze, die beim Abkühlen glasig erstarrt. Die Farbe der S. ist vom Fe_2O_3-Gehalt und in geringem Maße vom CaO-Gehalt des Scherbens abhängig. Bei oxydierender Atmosphäre entstehen hellgelbe bis rotbraune, bei reduzierender graue Farbtöne. Andere Farbtöne können durch Zusatz anderer flüchtiger Salze zum Kochsalz erreicht werden.

Salzsprengung – *durch Auskristallisation löslicher Salze – meist Alkali- oder Erdalkalisulfate – hervorgerufene Zerstörung poröser keramischer Werkstoffe, besonders von Ziegeln.* Die Salze gelangen über das Bodenwasser in das Porensystem des Mauerwerks und werden an die Oberfläche transportiert. Beim Verdunsten des Wassers kristallisieren sie aus. Der dabei entstehende Kristallisationsdruck kann Werte von 10 und mehr MPa erreichen und löst dann die Zerstörung des Ziegels aus. S. können begünstigt werden durch die mit den Rohstoffen eingebrachten Verunreinigungen, wie Pyrit, Kalk u. a., bzw. durch schwefelhaltige Brenngase, die mitgeführte Carbonate zu Sulfaten umsetzen. Durch höheren Ausbrand, d. h. durch silicatische Bindung der Kationen, und durch Zusätze von $BaCO_3$ können S. verhindert werden. Letzteres bildet mit Sulfationen das unlösliche $BaSO_4$. Mildere Formen von S. werden als *Abmehlung* bezeichnet.

Sammelkristallisation – Wachsen größerer Kristalle auf Kosten der kleinen Kristalle in polykristallinen Aggregaten auf Grund des Strebens, die Oberflächenenergie zu verkleinern.

Sand – *Anhäufung loser, kleiner Mineralkörner.* Nach der Korngröße wird gewöhnlich unterschieden:

- Grobsand: 2 bis 0,6 mm
- Mittelsand: 0,6 bis 0,2 mm
- Feinsand: 0,2 bis 0,06 mm
- Schluff: <0,06 mm.

S. entsteht durch Einwirkung der Atmosphärilien auf große Gesteinsmassen und einen natürlichen Trennprozeß in Kornklassen durch Transport im Wasser oder Wind, seltener durch Gletscher.

Sind die Kristallbruchstücke noch scharfkantig, spricht man von scharfen Sanden, haben die Kristallstücke kugelige oder eiförmige Gestalt, bezeichnet man sie als »weiche Sande«. Am verbreitetsten ist Quarzsand, der aus abgerollten Quarzkristallen besteht, und soweit er keine störenden Beimengungen und Färbungen (z. B. Eisenverbindungen >0,6 %) aufweist, stellt er einen wichtigen Rohstoff der Silicatkeramik dar. Sandablagerungen, die verwertbare Minerale (Diamant, Gold, SnO_2 u. a.) enthalten, werden als Seifen bezeichnet.

Sandstrahlen – *Verfahren zum Reinigen von Metall- oder Steinoberflächen von Farbe, Rost oder Schmutz durch Aufschleudern von Sand mittels Druckluftstrahls.* In der Keramik wird S. zum Aufrauhen von Oberflächen bzw. zum teilweisen Entfernen von Glasuren auf keramischen Artikeln angewendet, um eine bessere Haftung von Armaturen*, Metallisierungen* u. a. zu erreichen.

Zur Durchführung wird Quarzsand (Körnungen etwa 0,7 bis 1 mm), Korund, SiC, Stahlkies o. a. mit Druckluft von ≈0,4 MPa auf die Oberfläche geschleudert.

Sanidin – rechtwinklig spaltender Kalifeldspat $KAlSi_3O_8$.

Sanitärkeramik (lat.: sanitas = Gesundheit) – *Sammelbezeichnung für keramische Erzeugnisse aus Vitreous China* (selten Steingut*), die für sanitäre Zwecke verwendet werden.* Hierzu gehören Ausgüsse, Sitzbadebecken (Bidets), Klosetts, Spül-, Wasch- und Spuckbecken, Trinkbrunnen, Urinale. Die Herstellung erfolgt teil- und vollmechanisiert, z. B. auf Taktstraßen, vorwiegend durch Gießverfahren. Durch die Kernformen (Kernguß) entsteht eine relativ lange Standzeit. Die getrübte Glasur wird vor allem bei größeren Stücken im Spritzverfahren aufgetragen bzw. im Gleichstrom-Hochspannungsfeld aufgesprüht. Weißbrennende Engoben können auch verwendet werden. Das Brennen geschieht oxydierend vorwiegend in Tunnelöfen, wobei eine glatte, glänzende Glasuroberfläche entsteht, die sich leicht reinigen läßt und hygienisch ist.

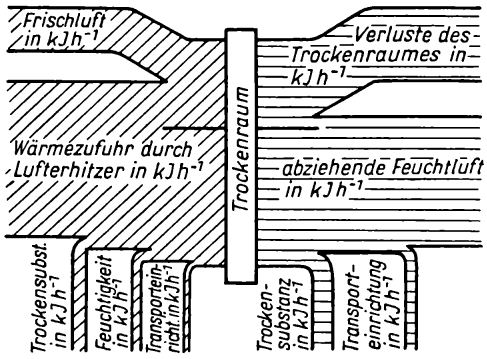
s. Glasieren, Trübungsmittel

***Sankey*-Diagramm** – *anschauliche Darstellung von Bilanzen in Form von Flußbildern, in denen die Breite der Ströme entsprechend ihren Quantitäten abgebildet wird.* Besondere Bedeutung haben Wärmestrombilder, mit deren Hilfe die einzelnen Positionen einer Wärmebilanz sichtbar gemacht werden können. (s. Bild S. 380 oben)

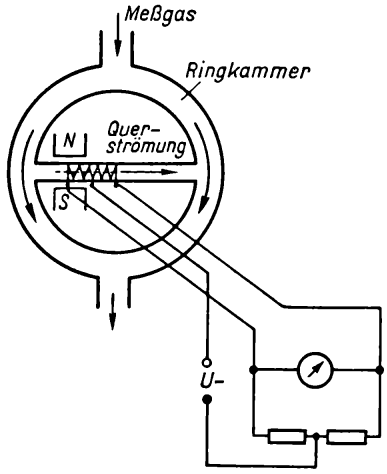
Saponit – *s.* Montmorillonitgruppe

Sauerstoffanalysator, paramagnetischer – *Gerät zur Messung des Sauerstoffgehaltes von Rauchgasen*, das die höhere paramagnetische Suszeptibilität des Sauerstoffs im Vergleich mit anderen Gasen zu seiner quantitativen Bestimmung nutzt.

Das Meßgas strömt in eine Ringkammer, die mit einem Querröhrchen ausgerüstet und auf eine Temperatur von etwa 55 °C temperiert ist. Der Permanentmagnet (s. Bild, S. 380, Permolyt des VEB Junkalor Dessau) zieht den paramagnetischen Sauerstoff an und erzeugt einen magneti-



Sankey-Diagramm: für einen Trockner



Sauerstoffanalysator auf paramagnetischer Grundlage

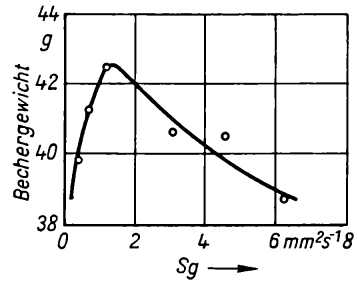
schen Wind. Diese Querströmung kühlt die Heizwendel ab, so daß sich der Widerstand der Heizwendel in Abhängigkeit von dem nachzuweisenden Sauerstoff ändert. Die Heizwendel bildet einen Zweig einer *Wheatstone*-Brücke, deren Brükkenstrom sich in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt ändert.

Der kleinste Meßbereich des p. S. erstreckt sich von 0 bis 0,5 Vol.-% Sauerstoff, mit unterdrücktem Nullpunkt beträgt er 0 bis 3 Vol.-%. [22]

Saugfähigkeit – *s.* Kapillarität, Fuchsindruckprüfung

Saugkoeffizient (S_g) – *Kapillarität*, die die Ansaugkinetik einer Gipsform* beschreibt,* erkennbar am Vordringen einer Wasserfront bei Berührung der Gipsform mit einer Wasseroberfläche. Der S. ist gegeben durch die Zeit *(t)*-Weg *(x)*-Abhängigkeit nach $x^2/t = S_g$.

Die Kapillarität ist die treibende Kraft bei der Scherbenbildung; sie ist verantwortlich für das Ausfüllen des Kapillarsystems zwischen den Kristallnadeln des Gipses. Dieser Vorgang läßt sich formal auch als Diffusion* beschreiben, wobei der S. nicht ganz korrekt auch als Diffusionskoeffizient *D* bezeichnet wird. Der S. ist technisch abhängig von der Art des Gipses*, dem Wasser-Gips-Verhältnis, der Aufbereitung des Gipses u. a. Ein Maß zur Beurteilung des S. stellt das sog. Bechergewicht* dar (s. Bild). Mit zunehmendem S. einer



Abhängigkeit des Bechergewichts vom Diffusionskoeffizienten S_g des Gipses nach *Lehmann* und *Mostetzky*

Gipsform durchläuft das Bechergewicht ein Maximum. In der Praxis arbeitet man jedoch meist mit S., die auf dem absteigenden Ast der Kurve liegen, bei denen die Standzeit wieder zunimmt. [133, 483]

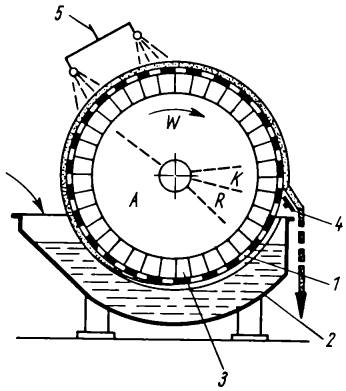
Saugzellenfilter (Trommelzellenfilter) – *eine mit Filtertuch bespannte, rotierende Trommel, die zum Trennen von Dispersionsmittel und disperser Phase dient* (s. Bild S. 381). Sie ist im Innern in Zellen eingeteilt und taucht im unteren Bereich in eine Suspension ein. Die sich jeweils unten (im Untertrog) befindenden Zellen werden unter Vakuum gesetzt. Dadurch wird das Wasser angesaugt, und die Feststoffe werden an das Filtertuch angelagert. Nach Beendigung der Vakuumeinwirkung können die Feststoffe (z. B. Kaolinkuchen) an anderer Stelle abgenommen werden. Ein Nachtrocknen ist notwendig, da im allg. für Tone die Leistung nicht ausreicht.

Saukonit – *s.* Montmorillonitgruppe

Säurebeständigkeit – *s.* Schadstoffabgabe

Säurekitte – wasserglashaltige oder organisch-chemisch abbindende kalthärtende Mörtel zum Verlegen säurefester Steine.

Säurezahl (Säuerungsstufe, Säure-Basen-Verhältnis) – *Mittel zur Beurteilung der Eigenschaften*



Trommelzellenfilter mit Untertrog, schematisch

1 Filtertrommel
2 Trog
3 Zellen
4 Kuchenabnahme
5 Waschbrausen
A Ansaugzone
K Kuchenabnahmezone
W Wasch- und Entfeuchtungszone
R Reinigungszone

einer Glasur o. a. Die Säurezahl 1,3 z. B. sagt aus, daß die Glasur zwischen einem Metasilicat (1:1) und einem Disilicat (1:2) liegt und als saures Silicat bezeichnet werden kann. Die S. ermittelt man, indem man die Flußmittelsumme und den amphoteren Teil der *Seger*formel* zusammenfaßt und das Mol-Verhältnis zum sauren Teil (SiO_2) festlegt. Das gemeinsame Flußmittelmolekül sowie SiO_2 sind zweiwertig. Fe_2O_3 ist vierwertig, der amphotere Teil (R_2O_3) sowie B_2O_3 sind sechswertig. Die Molanteile werden jeweils mit der Wertigkeit multipliziert. Der Säureanteil wird durch den ersten Wert dividiert.

Beispiel zur Berechnung der S. einer Steinzeugglasur:

$0{,}2\,MgO$
$0{,}5\,CaO \cdot 0{,}4\,Al_2O_3 \cdot 3{,}5\,SiO_2$
$0{,}3\,K_2O$

Basen: $1{,}0 \cdot 2 = 2{,}0$
$0{,}4 \cdot 6 = \underline{2{,}4}$
$4{,}4$

Säuren: $3{,}5 \cdot 2 = 7{,}0$

Die S. ist also $7{,}0 : 4{,}4 = \underline{\underline{1{,}58}}$, d. h., die Glasur ist ein saures Silicat und damit glänzend und transparent.

Schablone (Vorlage, ausgeschnittenes Muster) – *Mittel zum wiederholten Auftragen eines Musters oder zum Ausformen keramischer Gegenstände.* Die Sch. beim Formen bildsamer Massen können als *Flachschablone* (hier ist das Profil in eine Stahlplatte geschnitten) oder als *Vollschablone* beim Roller ausgebildet sein. Zwischen Sch. und Gips- bzw. Kunststofform entsteht der Formling. Beim Engobieren und Farbspritzen werden zum Aussparen von Flächen Papier-, Kunststoff-, Blei- oder andere Metallfolien als Sch. verwendet.

s. Reservage

Richtwerte für Säurezahlen

	Säurezahl	Anzahl der Mole Al_2O_3
Töpferglasur	0,8...2,0	0,0...0,3
Steingutglasur	0,8...2,0	0,1...0,5
Steinzeugglasur	1,25...2,0	0,1...0,8
Porzellanglasur	2,0...2,6	0,5...1,25

Schachtofen – *zylindrisch aufgebauter Brennofen* von 8 bis 18 m Höhe und einem lichten Durchmesser von 2,5 bis 3,5 m zum Brennen von Kalk, Dolomit, Magnesit, Schamotte, Zementklinkern bei Temperaturen bis 1500 °C und höher. Die Ausmauerung besteht aus Sinterdolomit, hochtonerdehaltigen Steinen u. a., oben auch aus Schamotte. Das Gut wird granuliert bzw. beim Schamottebrand als grobe Tonbrocken zugeführt und nach dem Brennen mechanisch entleert. Als Brennstoff dienen flüssiger Brennstoff, Gas, gasarme Kohle oder Koks (entweder mit dem Gut vermahlen oder als Grus zugegeben).

Schadstoffe – *zusammenfassende Bezeichnung für gesundheitsschädigende Agenzien,* wie toxisch wirkende Gase, Dämpfe, Schwebstoffe, aus Behälterwandungen in Lösung gehende Bestandteile und nichttoxische Stäube*. Im weiteren Sinne zählen zu den Sch. auch solche (nichtstoffliche) Einwirkungen wie ionisierende Strahlen und Lärm. Die wichtigsten Sch., die von Glasuren und Dekorationen feinkeramischer Erzeugnisse abgegeben werden können, sind Blei und Cadmium, daneben Antimon, Zink, Barium u. a.

Blei und Cadmium sind starke Gifte, die im Körper akkumuliert werden; so wird Blei in Leber, Nieren, Knochen und im Zentralnervensystem gespeichert und verursacht Schädigungen in Blut, Zellen und Zentralnervensystem. Cadmium wird in Leber und Lunge gespeichert, blockiert gewisse Enzymsysteme und kann in chronischen Fällen Anämie und Knochenveränderungen bewirken. Es

sind daher in zahlreichen Ländern gesetzliche Bestimmungen erlassen worden, die nur eine minimale Abgabe von Sch. unter bestimmten Prüfbedingungen tolerieren.

Schadstoffabgabe – *Abgabe gesundheitsschädigender Stoffe (meist Schwermetalle) aus keramischen Dekorationen und Glasuren unter Einwirkung saurer Agenzien.*

Werden Dekorationen, die Schadstoffe enthalten, mit Säuren behandelt, so können diese die Schadstoffe – je nach Intensität der Säureeinwirkung und der Resistenz der Dekoration – an die Säure abgeben. Da Nahrungs- und Genußmittel mitunter Säuren enthalten, besteht immer die Gefahr, daß Schadstoffe aus Geschirrteilen herausgelöst werden und in die Nahrungsmittel gelangen können. Durch die Entwicklung resistenter keramischer Farben und deren ausschließlichen Einsatz bei allen Aufglasur-Dekorationen für Haushaltgeschirr wird die Schadstoffabgabe in den lt. TGL vorgeschriebenen Toleranzen gehalten. Die regelmäßige Prüfung der Sch. ist trotzdem für alle Hersteller von Geschirr- und Gebrauchsporzellan Pflicht, wobei die Prüfmethoden von Land zu Land verschieden sind. Im allgemeinen wird mit 4%iger Essigsäure und 24 h Einwirkdauer bei Raumtemperatur geprüft. Die Auswertung erfolgt qualitativ und quantitativ mittels Polarographie*, Kolorimetrie* und Atom-Absorptions-Spektralphotometrie*. Die Toleranzgrenzen für Sch. bewegen sich in den einzelnen Ländern zwischen 2 und 10 mg l^{-1} für Blei und 0,1 bis 1,0 mg l^{-1} für Cadmium. Für die DDR gilt für Blei 0,1 bis 5,0 mg dm^{-2} und für Cadmium 0,01 bis 1,0 mg dm^{-2}. [485, 486]

Schale – Bezeichnung für eine Untertasse bzw. verschiedentlich auch für einen in der Breitlage geteilten Ziegel.

Schallemissionsanalyse (SEA) – *zerstörungsfreie Werkstoffprüfung*, die Schallimpulse registriert und bewertet, welche auf Veränderungen des mikrostrukturellen Gefüges* bei mechanischen und thermischen Belastungen zurückgehen; die ausgehenden Emissionen* liegen im Ultraschallbereich.

Rißbildungs- und -ausbreitungsprozesse in Werkstoffen bei mechanischer oder thermischer Belastung sowie Phasenumwandlungen sind u. a. mit einer Freisetzung kinetischer Energie in Form von elasto-mechanischen Wellen verbunden. Nach Durchlaufen des Werkstoffvolumens gelangen diese Wellen an die Oberfläche des Werkstückes, die dann zu Schwingungen angeregt wird. Durch Umwandlung der mechanischen Schwingungen in elektrische Größen kann diese irreversible Energiefreisetzung einer Registrierung und Analyse zugängig gemacht werden, d. h., vor dem makroskopischen Versagen des Werkstückes liegt bereits eine integrale Anzeige über die im Werkstück ablaufenden Prozesse vor.

Eine mögliche Versuchsanordnung zeigt das nebenstehende Blockschaltbild.

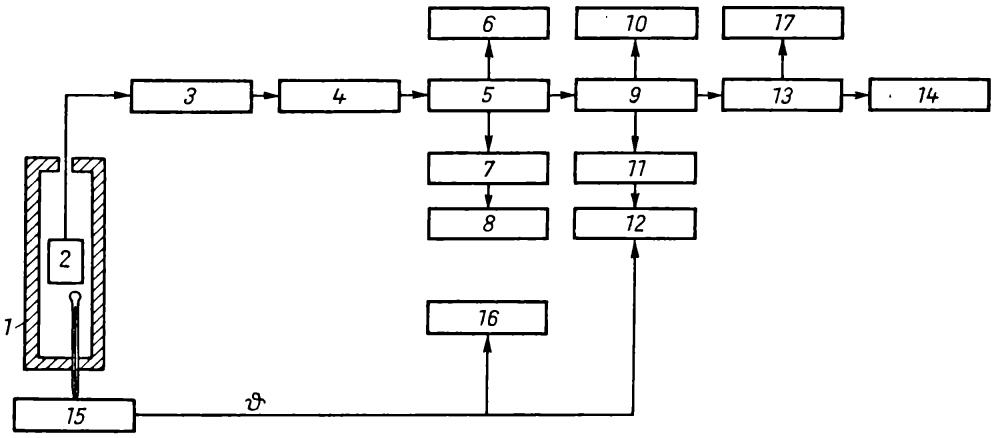
Gegenwärtig wird die SEA zur Untersuchung von Großstücken der technischen und Feuerfestkeramik beim Abkühlprozeß herangezogen. Während der gesamten Abkühlung ist Schallaktivität zu beobachten, d. h., es treten fortlaufend Veränderungen im Gefüge auf. Allgemein ist festzustellen, daß bei Temperaturen, bei denen die bekannten Modifikationsänderungen der Kristallphasen stattfinden, ein Ansteigen der Schallaktivität zunächst nicht eintritt, sondern um 20 bis 40 K tiefer. Der Grund dafür liegt darin, daß erst ein Spannungsfeld aufgebaut werden muß. Man schließt daraus, daß mit fortschreitender Verfestigung der Glasphase* die Rißbildung einsetzt (Bruchmechanik*). Insgesamt ist abzuschätzen, daß die SEA in Zukunft im System der Sicherung der Zuverlässigkeit keramischer Erzeugnisse an Bedeutung gewinnen wird. [94, 202, 204, 206]

Schallpegelmesser – *Meßgerät oder Meßkette zur Erfassung des frequenz- und zeitbewerteten Schalldrucks.*

Den prinzipiellen Aufbau eines S. zeigt das Blockschaltbild S. 383 unten.

In bezug auf die Frequenzbewertung weisen moderne Geräte vier bis fünf Bewertungsfunktionen auf sowie Anschlüsse für externe Filter und für Zeitbewertung die Funktionen: Impuls – schnell – langsam. [211]

Schamotte – *feuerfestes Halbfabrikat mit 25 bis 45% Al_2O_3-Anteil.* Ausgangsmaterial ist Ton, Schieferton oder Kaolin, welches bis zum vollständigen Wasserverlust, meist jedoch bis zur Sinterung, in Schacht- oder Drehrohröfen gebrannt wird. Der Brennprozeß wird bei Temperaturen von 1 000 bis 1 500 °C durchgeführt, entsprechend wird zwischen Glüh-, Normal- und Hartschamotte unterschieden. Der Brennführung kommt dabei die entscheidende Bedeutung zu; zu geringe Erst-



Versuchsanordnung zur Bestimmung des SE-Verhaltens während einer Wärmebehandlung (nach *Horn* und *Schnapp*)

1 Ofen
2 Probe mit Wellenleiter
3 Aufnehmer f_R = 300 kHz
4 Vorverstärker 40 dB 5 kHz bis 1 MHz
5 Verstärker 60 dB (Breitband)
6 Kontrolloszillograf
7 Selektivvoltmeter
8 *y-t*-Recorder (U_{eff-t})
9 Analysator (Diskriminator)
10 Akustik
11 Impulsdichteschreiber
12 *x-y*-Recorder (ID-ϑ)
13 Impuls-Zeit-Zähler
14 Meßwertdrücker
15 Thermostat mit Thermoelement
16 *y-t*-Recorder (ϑ-*t*)
17 Vorwahl

brandtemperaturen führen bei einem Zweitbrand (z. B. bei Schamottesteinen) zum Nachschwinden. Zu schneller Temperaturanstieg kann Ursache eines sog. Nachwachsens werden, wenn infolge vorzeitiger Glasbildung im Ton vorhandene organische Bestandteile nicht restlos ausgebrannt werden konnten.

Angestrebt wird eine maximale Mullitbildung. Unter der Annahme, daß das gesamte Al_2O_3 im Rohstoff an der Mullitbildung teilnimmt, kann der Mullitanteil 35 bis 62 % betragen. An weiteren Phasen können 15 bis 50 % Glasphase, 10 bis 25 % Cristobalit und 5 bis 15 % Restquarz vorliegen.

Zusätze von Sand führen zu einer SiO_2-reichen Schamotte, die bei thermischer Beanspruchung weitgehend volumenkonstant ist; Zusätze von MgO reagieren in Richtung Cordierit*, wobei sich diese Sch. durch einen kleinen *WAK* auszeichnet. [144]

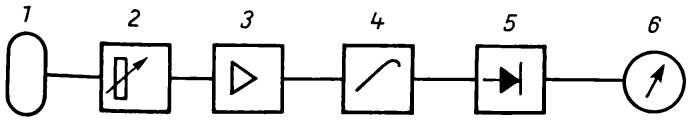
s. System Al_2O_3-SiO_2

Schamottekachel – *aus kalkarmen Tonen* (gemagert durch Schamotte und Glühscherben) *hergestellte Kacheln*, die mit weißbrennenden Tonen engobiert, mit durchsichtiger farbloser oder gefärbter Glasur oder mit deckender, meist zinnoxidhaltiger Fritteglasur überzogen werden.

s. Meissener Kachel

Schamotteleichtsteine – *durch Zugabe von ausbrennenden oder verdampfenden Stoffen (z. B. Sägespäne, Koks, Kunststoffe) zu Schamottemassen gewonnene hochporöse Isoliersteine.* Die Rohdichte von Sch. liegt bei 0,5 bis 1,2 g cm^{-3}, die Gesamtporosität bei 60 bis 80 %, die Wärmeleitfähigkeit bei 1000 °C bei 0,25 bis 0,60 W(m K)$^{-1}$ und der Einsatztemperaturbereich bei 1200 bis 1350 °C. Verwendung finden sie zur Isolation als Hintermauerungsmaterial im Industrieofenbau bzw. bei geringer mechanischer Belastung auch zur Direktausmauerung.

Schamottemehl – bei der Zerkleinerung von



Blockschaltbild eines Schallpegelmessers

1 Mikrofon
2 Bereichsumschalter
3 Verstärker
4 Frequenzbewertungsfilter
5 Effektivwertbildung und Zeitbewertung
6 Registriergerät

Schamottescherben entstehendes Pulver, das als Magerungsmittel* verwendet bzw. unter Zusatz von Wasserglas oder auch Ton feucht als Schamottemörtel verarbeitet wird.

Schamottesteine – *auf der Basis von Rohschamotte und/oder Schamottebruch und feuerfesten Tonen und/oder Kaolin hergestellte feuerfeste Werkstoffe.* Um zu einer formbaren Masse zu kommen, muß die stückige Schamotte zerkleinert und in mehrere Fraktionen aufgeteilt werden (s. Litzow-Kurve). Zur Grobzerkleinerung werden Backen-, Kegelbrecher u. a. herangezogen. Die Feinzerkleinerung wird mit Walzwerken, Siebkollergängen, Ring- oder Rohrmühlen u. a. ausgeführt. Die Klassierung in die Fraktionen Grob-, Mittel- und Feinkorn wird über Schwingsiebe u. a. erreicht. Die bildsamen Rohstoffe werden im Tonhobel oder -raspler vorzerkleinert, durchlaufen Trockentrommeln u. a., danach Kugelmühle, Siebkollergang, Hammermühle u. a. In Mischern (Doppel-, Gegenstrommischer u. a.) werden die Komponenten zu einer homogenen Masse aufbereitet.

Folgende Formgebungsverfahren werden angewendet:

1) Bildsames Verfahren (Verfahren *p*) mit einem Schamotteanteil von 50 bis 65 %, einer Feuchtigkeit von 17 bis 19 %, einer Trockenschwindung von 3 bis 6 %, einer Brennschwindung von 3 bis 5 %; Formgebungsmaschinen sind Strang- und Nachpressen (Exzenter-, Schlaghebelpressen u. a.), von Hand wird selten geformt; die Maßhaltigkeit ist mäßig.

2) Halbtrockenverfahren (Verfahren *u*) mit einem Schamotteanteil von 50 bis 75 %, einer Feuchtigkeit von 8 bis 9 %, einer Trockenschwindung von 0,5 bis 1,0 %, einer Brennschwindung von 1 bis 2 % und guter Maßhaltigkeit; wegen der geringen Bildsamkeit dieser Massen liegen die Preßdrücke in der Größenordnung von 30 MPa.

3) Trockenpreßverfahren, Hartschamotteverfahren (Verfahren *x*) mit einem Schamotteanteil bis zu 95 %; der Bindeton wird in Form eines Schlickers zugegeben, die Feuchtigkeit beträgt maximal 5 %, Trocken- und Brennschwindung jeweils 0 bis 0,1 %; die Formgebung erfolgt mit schweren Pressen, Preßluftstampfer, Vibrationsrüttler u. a.; besondere Aufmerksamkeit ist bei diesem Verfahren dem Körnungsband zu widmen. Die nach diesem Verfahren hergestellten Erzeugnisse haben eine hohe Dichte, hohe Druckfestigkeit, gute *TWB* und wegen des geringen Anteils an Bindeton eine hohe Maßhaltigkeit.

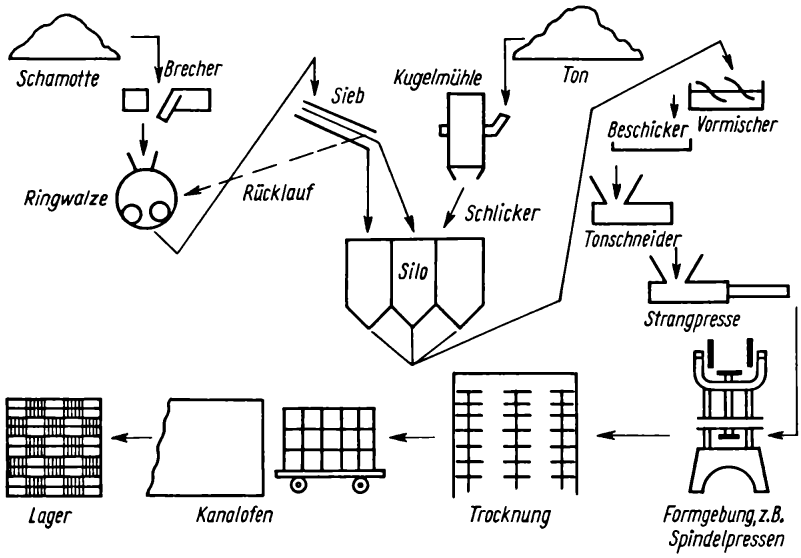
4) Glühschamotteverfahren mit einem Schamotteanteil von 8 bis 12 %, einer Feuchtigkeit bis 19 %, einer Trockenschwindung von 1 bis 3 % und einer Brennschwindung von 10 bis 12 %; die Maßhaltigkeit ist mäßig.

5) Gießverfahren mit einem Schamotteanteil von 50 bis 70 %, einer Feuchtigkeit bis etwa 20 %, die Maßhaltigkeit ist mäßig; gegossen werden Rohre, Tiegel u. a. Vor dem Brand müssen die Rohlinge auf eine Restfeuchte von 2 bis 3 % vorsichtig getrocknet werden. Das Brennen erfolgt in Ring-, Gaskammerring- oder Tunnelöfen, selten in Einzelöfen. Die Brennhöhe liegt bei etwa 1 400 °C, die Brenndauer richtet sich nach dem Ofensystem und dem Erzeugnis. Für Tunnelöfen können 60 bis 80 h (davon Kühlzeit 30 bis 40 h) und für Ringöfen 160 bis 260 h (Kühlzeit 100 bis 140 h) Brennzeit angesetzt werden. Großformatige Steine benötigen Kühlzeiten bis zu 12 Tagen.

Sch. sind meist gelblich bis bräunlich gefärbt, die Intensität der Färbung ist vom Eisenoxidgehalt abhängig. Die nach dem bildsamen Verfahren hergestellten Steine weisen Rohdichten von 1,80 bis 1,95 g cm^{-3}, die unbildsam hergestellten solche von 1,95 bis 2,10 g cm^{-3} auf; entsprechend beträgt die offene Porosität 24 bis 28 % bzw. 18 bis 24 %. Die $T_{0,6}$-Werte (s. Druckfeuerbeständigkeit) liegen je nach Konventionsklasse und Formgebungsverfahren zwischen 1 300 und 1 460 °C, die *TWB* (Abschreckungen) bei 8 bis 30. Ein Nachschwinden von 1 bis 1,5 % wird als Grenze der Verwendungstemperatur angesehen.

Es ist üblich, Sch. nach ihrem Temperaturverhalten (Kegelfallpunkt KFP) in Konventionsklassen einzuteilen (wobei in den verschiedenen Ländern etwas abweichend voneinander verfahren wird). Allgemein kann man die chemische Zusammensetzung heranziehen. Sch. mit einem Al_2O_3 + TiO_2-Gehalt $\leqq$ 32 % werden als saure Schamotte bezeichnet. Sch. werden in verschiedenen Formaten und für die verschiedensten Anwendungsgebiete bereitgestellt, so für alle Arten von Feuerungsanlagen, Hochöfen, Gaserzeugungsöfen, Winderhitzer, Stahlwerksbedarf u. a. (s. Bild und nebenstehende Tabelle)

Scharffeuer-Aufglasurfarbe (-Kobalt) – *Aufglasurfarbe, die die Temperaturen des Scharffeuers aushält.* Sie besteht aus Farbkörper und Farbstoffen



Produktionsschema von bildsam geformten Schamottesteinen (nach Fabrikprospekten)

(feuerbeständige Verbindungen; Cobaltsilicat, -aluminat), die mit einem größeren Prozentsatz (20 bis 70 %) Glasur (auch Feldspat, B_2O_3) vermahlen, mit einem organischen Binder angemacht, auf das fertig gebrannte, glasierte Stück aufgetragen und in neutraler oder leicht oxydierender Atmosphäre in einem weiteren Glattbrand aufgeschmolzen werden. Dabei sinkt die Aufglasurfarbe etwas in die erweichende erste Glasur ein. Das bedingt die bessere chemische Resistenz und Haltbarkeit gegenüber gewöhnlichen Aufglasurfarben; nachteilig sind die höheren Herstellungskosten (Glattbrand).

Scharffeuerfarbe – *keramische Farbe, die als Unterglasurfarbe verwendet wird,* d. h. einen Glatt- oder Scharfbrand aushalten muß, ohne sich zu verändern. Der Flußzusatz (s. Fluß) richtet sich nach der Glasurzusammensetzung, der Farblage und der Einbrenntemperatur. Die Brennstabilität hängt von der Auftragsdicke und Viskosität der jeweiligen Glasur, der Brenntemperatur und der Brennatmosphäre ab. Gegen das Auslaufen der Farben wird ein Tonerde- oder Glühscherbenzusatz von 20 bis 50 % empfohlen.

Schattenrohre – *in der metallurgischen Stranggußtechnologie Verbindungsrohre, die eine Reoxyda-*

Klassifikation der Schamottesteine für allgemeine Zwecke

Klasse	Rohstoffe	KFP	Al_2O_3 + TiO_2	Fe_2O_3	CaO + MgO	K_2O + Na_2O
I	Schiefertone	173	42	1	0,5	1,0
	Schlämmkaoline,	bis	bis	bis	bis	bis
	reine	177	45	2,5	1,2	2,0
II	tonerdereiche	171	37	2	0,5	1,5
	Tone ohne	bis	bis	bis	bis	bis
	Schamottebruch	173	42	4	1,5	2,5
III	Tone	158	30	2	0,5	1,5
	Schamottebruch	bis	bis	bis	bis	bis
		171	37	4	1,5	3,0
IV	quarzreiche	167	68	1	0,5	1,0
	Tone	bis	bis	bis	bis	bis
	Kaoline	171	85	2,5	1,0	2,0
	Quarz		SiO_2			

tion des Stahles zwischen Pfanne und Verteiler verhindern; sie werden oft zusammen mit einer Gasspüleinrichtung eingesetzt.

Sch. zählen zum Stahlwerksverschleißmaterial* und können während einer Sequenz (2 bis 3 Chargen) ausgewechselt werden; gefordert wird daher eine rasche Verfügbarkeit, d. h., sie müssen ohne Aufheizen einen Thermoschock aushalten.

Außer den üblichen Tonerde-Graphit- bzw. schlikkergegossenen SiO_2-Materialien werden auch blechummantelte dünnwandige Keramiken aus Al_2O_3 bzw. MgO herangezogen. Aus Sicherheitsgründen werden Sch. nur zweimal eingesetzt. (s. Bild) [553]

Schaukelförderer – *ein Kettenförderer zum kontinuierlichen waagerechten, geneigten oder senkrechten Transport von Stückgütern, Formen usw.* Das Fördergut befindet sich stets in waagerechter Lage auf schaukelartigen Gehängen, die frei pendelnd an einer Kette aufgehängt sind, oder auch zwischen zwei parallelen Ketten.

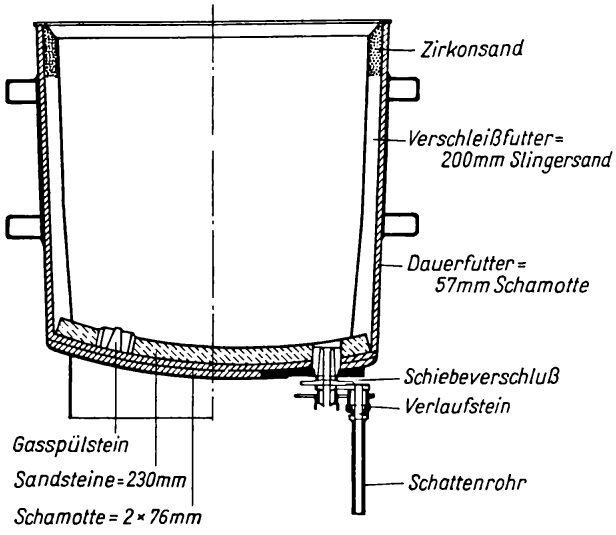
Schaukeltrockner – *gut isolierter Trockenschrank mit umlaufenden Schaukeln, auf denen die frischen Formlinge in ihren Gipsformen umlaufen, getrocknet und abgenommen werden.* Die Schaukeln sind zwischen langgliedrigen Rollenketten aufgehängt und werden nacheinander durch mehrere Trockenkanäle geführt. Durch Lufterhitzer vorgewärmte Luft gelangt in den unteren Trockenbereich und von dort ins Freie. In diesem unteren Bereich herrscht eine höhere relative Luftfeuchte. Die Trocknung* erfolgt bis zum Schwindungsendpunkt. Im obersten Kanal werden die leeren Formen auf dem Rücktransport getrocknet.

Schaumbildner (Schäumer) – *Stoffe, die zur Bildung von Schäumen befähigt sind.* Meist handelt es sich um polare/unpolare Verbindungen, die sich an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Gas ausrichten, und zwar mit dem polaren Ende nach der Flüssigkeit und mit dem unpolaren nach dem Gas zu. Bekannte Sch. sind einwertige aliphatische Alkohole, Homologe des Phenols u. a. Zur Erhöhung der Zähigkeit kann man dem Schaum gelösten Tischlerleim, Sulfitablauge u. a. zusetzen.

Schaumkeramik – *auf der Basis von reinen Oxiden, Silicaten u. a. durch Schäumen, d. h. durch Vermischen von Masseschlicker und Schaumemulsion in einem der gewünschten Rohdichte entsprechenden Verhältnis in Wellenmischern u. a., nachfolgendes Stabilisieren der Schäume und Verfestigen (Sintern) hergestellte Werkstoffe.* Sch. zeichnet sich durch geringe Wärmekapazität, hohes Wärmedämmvermögen, hohe *TWB*, hohes elektrisches Isolationsvermögen bis zu höchsten Temperaturen und hohe Korrosionsfestigkeit aus. Allgemein bezeichnet man die Erzeugnisse der Sch., die in einem Temperaturbereich bis 1 100 °C eingesetzt werden, als Isoliersteine. Erzeugnisse, die darüber hinaus verwendet werden, als Feuerleichtsteine.

s. Wärmedämmstoffe

Schaumkorund – *auf der Basis von Hohlkugel-*



Zustellung einer Stahlgießpfanne mit Schattenrohr

korund oder durch Zusatz von schaumbildenden Stoffen (z. B. Saponin) mechanisch durch Rühren oder durch Gasentwicklungen infolge chemischer Reaktionen (z. B. Aluminiumpulver und HCl) zu Korundmassen gewonnener hochporöser Wärmedämmstoff.*
Sch. weist eine Rohdichte von 1,2 bis 1,3 g cm^{-3}, eine Gesamtporosität von 60 bis 70 %, eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,95 W(m K)$^{-1}$ auf und kann für thermisch hochbeanspruchte Teile bis 1 800 °C eingesetzt werden.

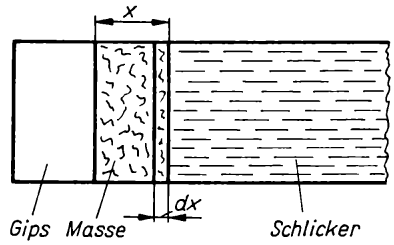
Schaumton – *tonkeramisches Sinterprodukt auf der Basis eines Gemisches von Schäumer mit flußmittelreichem Ton. D.* < 0,9 g cm^{-3}; Druckfestigkeit 7 bis 10 MPa. Ausgezeichnetes Schalldämmungsmittel. Sch. kann glasiert, eingefärbt und dekoriert werden. Durch Behandeln mit Silikonöl wird Sch. wasserabweisend.

Scheiteldruckfestigkeit – eine Festigkeit, die den Widerstand gegen den Druck von außen auf ein Steinzeug-Kanalisationsrohr in N m^{-1} angibt.

Schellack – *ein Harz, erzeugt durch den Saugstich des Lackschildlaus-Weibchens in die Zweige vorder- und ostindischer Bäume.* Die Säfte der Bäume werden dabei z. T. in Harze umgesetzt, die sich als 3 bis 8 mm dicke Kruste abscheiden. Die Kruste kommt als Stocklack in den Handel. Die hellste und somit wertvollste Schellacksorte ist der Lemonschellack. Sch. ist in Alkohol gut, in Ether, Benzin und Benzol schwer, in Wasser unlöslich; T_s = 110 bis 115 °C. Verwendung in der Keramik vor allem zur Isolierung von Gipsformen.

Scherben – *der gestaltete keramische Werkstoff im Gegensatz zu Masse und Glasur.*
Durch Vorsätze zum Begriff Sch. wird oft der erreichte Fertigungsgrad im Produktionsdurchlauf ausgedrückt, wie Dreh-, Gieß- oder auch Glüh- und Glattscherben. Meist wird der Begriff Sch. für den keramischen Werkstoff schlechthin verwendet. Kennzeichen des gebrannten Sch. sind Dichtigkeit, Farbe, Gefüge, Phasenzusammensetzung, Transparenz.

Scherbenbildungsvermögen – *die Fähigkeit der Feststoffanreicherung an der Grenzschicht Form/Schlicker beim Formgebungsprozeß keramischer Massen durch Gießen*.*
Das Sch. beruht auf einem Entzug des Wassers aus dem Schlicker* und gleichzeitiger Anlagerung von Feststoffteilchen an den Wänden des Formenmaterials. Die Dickenzunahme der angesetzten Schicht gehorcht dem Wurzel-Zeit-Gesetz und kann formal als Diffusion* oder als Filtration betrachtet werden. Die für diesen Vorgang erforderliche Zeit wird als Standzeit* bezeichnet. Als Maß für das Sch. gilt das sog. Bechergewicht*.
Das Sch. wird wesentlich beeinflußt von:
- Litermasse und Eigenschaften der festen Phase (s. Bild),



Ansatz der Masse auf der Gipswand

- Saugkoeffizient* des Formenmaterials,
- Grad der Verflüssigung* des Schlickers,
- Peptisationsmittel*,
- Temperatur des Schlickers.

Das Sch. ist eine bestimmende Größe für die Produktivität von Anlagen zur maschinellen Formgebung durch Gießen. [39, 111, 274]

Scherbenquellung – *s.* Feuchtigkeitsdehnung

Scherbentextur – räumliche Orientierung der einen Scherben aufbauenden Phasen.
s. Gefüge, Textur

Scheuern – *s.* Gleitschleifen

Schichten, dicke – *als Pasten, meist im Siebdruck*, auf keramische Unterlagen/Substrate* aufgebrachte und nachfolgend eingebrannte Schichten mit einer Dicke von > 1 µm.* Der Ausdruck d. Sch. soll besonders den Unterschied zu den sog. dünnen Schichten* (< 1 µm) hervorkehren.
D. Sch. haben in der keramischen Dekoration und auch in der Mikroelektronik* – dort auch unter der Bezeichnung Dickschichttechnologie – erhebliche Bedeutung erlangt. Die Herstellung d. Sch. läßt sich fast bis zur Vollkommenheit automatisieren, so daß seriöse Kalkulationen heute von einem Lohnkostenanteil von 3 bis 9 % sprechen. Die Pasten bestehen aus einem ausbrennenden organischen Trägermaterial, einem Haftmaterial (Fluß*, Bi_2O_3 u. a.) und der eigentlichen aktiven Komponente. In der keramischen Dekoration sind das die verschiedenen Farbkörper*, in der Mikroelektro-

nik Substanzen, die auf die zu übernehmenden spezifischen Aufgaben als Leiter, Widerstände*, Dielektrika*, Magnetika*, Halbleiter* (Varistoren*), Sensoren* u. a. abgestimmt sind. [469, 489, 490]

s. Beschichten, Vakuumbeschichtungsanlage, Plasmaspritzen

Schichten, dünne – *Körper, bei denen eine Dimension im Verhältnis zu den beiden anderen Dimensionen extrem klein ist und die sich durch Eigenschaften auszeichnen, die erheblich von denen kompakter Festkörper abweichen.* Sie werden deshalb auch als besondere Zustandsform der Materie angesehen. D. Sch. werden gewöhnlich durch Aufdampfen im Hochvakuum oder Katodenzerstäubung auf eine Unterlage (Substrat), durch chemische (z. B. Vergolden von Porzellanoberflächen) oder elektrochemische (z. B. anodische Oxydation von Alu-Legierungen) Verfahren gewonnen. Dünne adsorbierte Gasschichten werden durch definierten Gaseinlaß im Hochvakuum erzeugt. Die mechanische Festigkeit d. Sch. kann die Festigkeit kompakter Körper um Größenordnungen übertreffen. Die elektrischen und magnetischen Eigenschaften sind stark von der Schichtendicke abhängig. Mit der Herstellung d. Sch. beschäftigt sich die sog. Dünnschichttechnik bzw. Dünnfilmtechnik. Wegen der enormen Raumersparnis werden heute Kondensatoren, Widerstände, Induktivitäten, Thermistoren u. a. auf der Basis von der d. Sch. gefertigt.

s. Sputtern

Schichtenbildung (Schieferung) – *ein beim Pressen häufig auftretender Fehler,* der seine Ursachen u. a. in einem ungenügend rieselfähigen Preßpulver, einem nicht genügend abgestuften Körnungsspektrum und Nichtentweichen der im Preßgranulat vorhandenen Luft hat. Letzteres kann durch eine Abstufung von Vor- und Hauptpreßdruck verbessert werden.

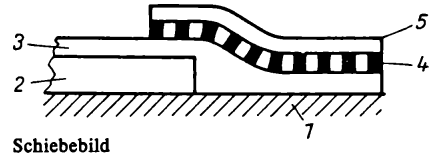
s. Pressen

Schichtsilicate (Phyllosilicate) – *Schichten, die sich aus zweidimensional über Brückensauerstoff verknüpften SiO_4-Tetraedern aufbauen.* Sie können durch die Formel $[Si_2O_5]^{2-}_{\infty}$ charakterisiert werden. Von den vier Sauerstoffatomen eines Si—O-Tetraeders sind drei als Brückensauerstoff mit Nachbartetraedern verbunden und damit abgesättigt, während das vierte noch frei ist. Die freien Valenzen können je zur Hälfte nach beiden Seiten zeigen (wasserfreie Silicate) oder nur nach einer Seite. Letzteres wird bei wasserhaltigen Sch. beobachtet.

s. Silicatstruktur

Schichttechnik – *s.* Beschichten

Schiebebild – *ein im Bunt- oder Siebdruckverfahren seitenrichtig auf Metakapapier gedrucktes Bild, das zur Verhinderung von Rissen und Faltenbildung mit Schiebelack (Filmlack) überdruckt ist.* Nach Anfeuchten mit destilliertem Wasser läßt sich der Film mit dem darunterliegenden Muster sehr leicht auf den zu dekorierenden Gegenstand aufbringen. Auf Grund der gegenüber gewöhnlichen Abziehbildern höheren mechanischen Festigkeit kann das Sch. auf dem Gegenstand in die richtige Lage verschoben werden. Zur Vermeidung von Blasen muß es noch angedrückt und glattgestrichen werden. (s. Bild)



Schiebebild
1 Unterlage/Scherben
2 Metakapapier (Spezialpapier)
3 Trennschicht
4 Dekor
5 Lackschicht

Schiebeluft – *am Ende des Tunnelofens dosiert angesaugte Luft, die das Abwandern von Abgasen aus der Brennzone in die Kühlzone verhindern soll.* Richtig bemessene Mengen an Sch. erhöhen den statischen Druck im Brennkanal, vermindern die Wirksamkeit eingedrungener Falschluft in der Vorwärmzone und intensivieren die Restkühlung. Größere Mengen an Sch. müssen vor der Brennzone wieder abgezogen werden, da sie sonst Temperatur- und Atmosphärenverhältnisse der Brennzone ungünstig beeinflussen.

Schieferletten – *rot, grün oder violett gefärbte tonige Gesteine mit erheblichem Sandanteil und deutlicher Schichtung.* Die Sch. der geologischen Epochen Zechstein (≈200 Mill. Jahre alt) und Keuper (≈170 Mill. Jahre alt) haben Bedeutung als Ziegelrohstoffe.

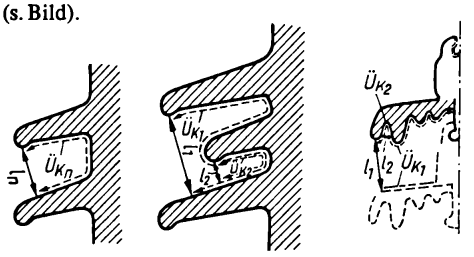
Schieferschamotte – *aus Schieferton gewonnene Schamotte,* die besonders widerstandsfähig ist gegen Glas- und Schlackenflüsse, eine hohe Abriebfestigkeit zeigt und die *TWB* und die *DFB* von Schamottesteinen verbessert.

Schikane – *Bezeichnung für Aufmauerungen auf der Oberkante des Herdwagens für Tunnelöfen.* Sch.

dienen als Rauchgassperren, die verengte Querschnitte schaffen und dadurch die Rauchgase zwingen, auch im unteren Teil des Brennkanals entlangzuströmen.

Schirme – *konstruktive Maßnahme zur Unterbrechung des Wasserfadens und von leitenden Bahnen durch Fremdschichten auf der Oberfläche von Hochspannungsisolatoren*.*

Nach der Form der Sch. spricht man von Normal-, alternierenden und Schirmen mit Unterschirmen (s. Bild).



Normalschirme *alternierende Schirme* *Schirme mit Unterschirmen (z.B. Kappenisolatoren)*

Schirmformen

Entscheidend für die Geometrie der Sch. ist die Länge der Kriechüberschlagstrecke $\ddot{U}_{K_n}$ (meist kurz Kriechweg* genannt), wobei es jedoch für die Kriechüberschlagstrecke ein Optimum gibt. Nach Untersuchungen von *Streubel* wird die Kriechüberschlagstrecke nicht mehr voll genutzt, wenn ihre Länge das Dreifache des lichten Abstandes zweier Punkte (im Bilde die Strecke l_n) auf zwei Schirmen beträgt. [503]

Schlacke

1) Geschmolzene Verbrennungsrückstände, die durch rasche Abkühlung meist als mehr oder weniger porige Stoffe vorliegen.

2) Bei der Verhüttung von Erzen abgetrennte Gangart (taubes Gestein).

3) Beim Schmelzen von Metallen zu entfernende Oxide.

Meist werden dabei zur Steuerung der Viskosität der schmelzflüssigen Gangart und/oder zur chemischen Bindung unerwünschter Bestandteile (z.B. Entphosphatisierung) Zuschläge (Kalk, Flußspat u. a.) zugegeben. Gewöhnlich unterscheidet man:

- *Herd- und Kesselschlacke* als Verbrennungsrückstände der Kohle,
- *Hochofenschlacke* bei der Roheisengewinnung,
- die bei der Stahlgewinnung anfallende Sch. *(Bessemer-, Thomas- und Siemens-Martin-Schlacke)*,
- *Kupferschlacke* u. a.

Die anfallenden Sch. werden meist einer technischen Verwendung zugeführt, etwa als Pflastersteine im Straßenbau, als Zuschlagstoffe für Mörtel, Beton u. a.

Nach ihrem Zustand können Sch. glasig oder kristallin vorliegen. Glasige Sch. werden als Schlakkensande bezeichnet, ihre Farbe kann sehr verschiedenartig sein und ist abhängig von der verhütteten Gangart. Ein besonderes Kennzeichen der Schlackensande ist der Brechungsindex der Glasphase. Liegt dieser unter $n = 1{,}65$, so nehmen diese Sande beim Lagern Wasser und CO_2 in beträchtlicher Menge auf und besitzen geringes hydraulisches Erhärtungsvermögen.

Schlackenbeständigkeit – *Widerstandsfähigkeit ff. Erzeugnisse gegen jede Art chemischer Angriffe durch staubförmige, geschmolzene und gasförmige Stoffe.* Die Zerstörungsvorgänge können entsprechend der vielfältigen chemischen Zusammensetzung der zerstörenden Stoffe sehr verschiedener Natur sein. Für die Praxis sind die Reaktionen zwischen den silicatischen Werkstoffen und kalkreichen Schlacken besonders wichtig. *s.* Verschlackungsbeständigkeit

Schlackenkristalle (Stückschlacke) – Beim Verhütten von Erzen können sich in Abhängigkeit von der Gangart, von Erstarrungstemperatur und -zeit die verschiedensten kristallinen Phasen bilden. Die wichtigsten Kristalle sind: Gehlenit*, Akermanit*, Larnit (Ca_2SiO_2 – tritt in mehreren Modifikationen auf; die β-Form ist nur oberhalb 675 °C stabil und zerrieselt beim Abkühlen), Magnetit*, Merwinit*, Klinoenstatit*, Wollastonit*, Leuzit*, Diopsid*, Anorthit*, Fayalit*, Kupferglanz (Cu_2S), Cassiterit*, Bariumfeldspat ($Ba\,Al_2Si_2O_8$), Kalkferrit ($2\,CaO \cdot Fe_2O_3$), Olivin*, Periklas*, Wüstit* (FeO) u. a.

Sch. können sich auch als Verschleißerscheinung am Feuerfestmaterial der Schmelzzone bei Verhüttungsprozessen ausbilden.

Verwendung: Pflastersteine im Straßenbau, im Wasserbau, als Mörtel- und Betonzuschlag.

Schlackenwolle – *Gewirr von Schlackenglasfäden,* die aus geschmolzenen Schlacken* nach Glasfaserherstellungstechnologien (Strahl-, Schleuder-, Blasverfahren) erzeugt werden.

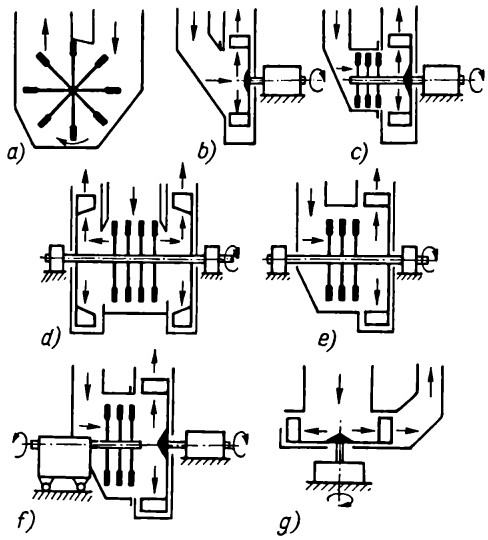
Gute Sch. besitzt eine mittlere Fadendicke von 3 bis 4 µm und weniger als 15% Schmelzkügelchen.

Verwendung: Schallisolierung.

Schlagbiegefestigkeit (Schlagbiegezähigkeit) – *Widerstandsfähigkeit eines Körpers gegen Schlagbeanspruchung und stoßweise Biegebelastung.* Die Sch. wird mit einem Pendelschlaghammer gemessen. Auf das Widerlager des Prüfgerätes werden Prüflinge mit definiertem Querschnitt gegeben. Beim Herunterfallen des Schlaghammers läuft auf einer Skala ein befestigter Zeiger, der gleichzeitig noch einen Schleppzeiger mitnimmt. Befindet sich auf dem Widerlager kein Prüfstab, pendelt der Hammer durch, bis er auf der anderen Seite in gleicher Höhe wieder zur Ruhe kommt. Muß der Hammer beim Durchpendeln Schlagarbeit leisten, so kommt er vor Erreichen seiner Ausgangshöhe zum Stillstand. Die Differenz an potentieller Energie zwischen den beiden Ruhelagen ist gleich der verbrauchten Schlagarbeit. Die Skalen der meisten Prüfgeräte sind unmittelbar in N cm geeicht, so daß die Schlagarbeit sofort abgelesen werden kann. Die resultierende Sch. wird in N cm cm^{-2} angegeben; sie liegt bei Porzellan, Steatit und anderen vergleichbaren keramischen Werkstoffen bei etwa 20 bis 40 N cm cm^{-2}. (Die Messung ist nicht ganz exakt, da ein Teil der verbrauchten Arbeit dazu dient, die Bruchstücke des Prüflings fortzuschleudern.)

Schlägermühlen – *für die Fein- und Feinstzerkleinerung weicher bis mittelharter, nicht stark abrasiver Materialien, wie Kalk, Gips, trockener Ton, eingesetzte Zerkleinerungsmaschinen.*

Sch. bestehen aus einem mit Verschleißelementen ausgekleideten, häufig geteilten Gehäuse, in dem ein mit Schlägern unterschiedlicher Konstruktion bestückter Rotor angeordnet ist. Der außerhalb des Gehäuses auf einem gemeinsamen Grundrahmen zweiseitig gelagerte Rotor wird in der Regel direkt von einem Elektromotor über eine elastische Kupplung angetrieben. Die aus Schlägerkopf, Schlagplatten oder Schlägerarm bestehenden Schläger werden über Schlagarmbolzen bei starrer Kopfbefestigung pendelnd, bei pendelnder Schlägerkopfbefestigung starr an der Rotorwelle befestigt. Bei Verwendung von Schlagplatten, die von zwei nebeneinander angeordneten Schlägerarmen getragen werden, wird eine höhere Standzeit und Ventilationswirkung erreicht. Die Anzahl der auf dem Rotorumfang gleichmäßig verteilten Schlägerreihen kann bei kleinen Mühlen 4, 6 oder 8, bei großen bis zu 12 Reihen betragen. (s. Bild mit



Grundprinzipien von Schläger-, Schlagrad- und Gebläseschlägermühlen
a) Schlägermühle
b) Schlagradmühle mit horizontal gelagertem Rotor
c) *d), e), f)* Gebläseschlägermühlen mit unterschiedlicher Anordnung der Schlägergruppe, des Antriebes und der Lagerung
g) Schlagradmühle mit vertikal gelagertem Rotor

den Grundprinzipien der verschiedenen Ausführungen (nach *Höfft*)).

Die erreichbaren Korngrößen liegen in einem Bereich von 10 bis 100 µm; die Durchsatzleistungen werden bestimmt durch Konstruktion und Umlaufgeschwindigkeit der Schläger und liegen zwischen 5 und 20 t h^{-1}. [330]

s. Desintegratoren

Schlämmanalyse – *Verfahren zur pauschalen Korngrößenbestimmung feinkörniger Pulver, insbesondere von Tonen und Kaolinen.* Sch. nutzen die Gesetzmäßigkeit, daß die Fallgeschwindigkeit eines festen Körpers in einem flüssigen Medium abhängig ist von

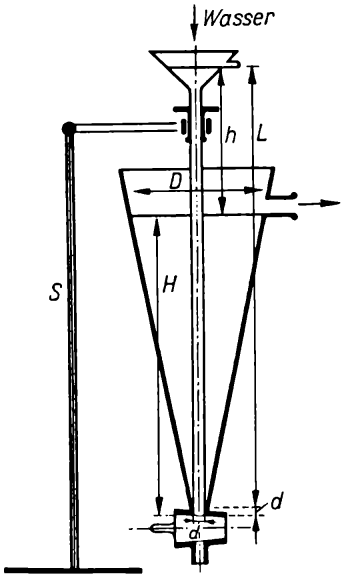
- der Korngröße und der Dichte des Festkörpers,
- der Viskosität und der Dichte des flüssigen Mediums.

Bei der Sch. bewegt sich das flüssige Medium ver-

tikal nach oben. Entsprechend der Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstromes werden bestimmte Korngrößenfraktionen von diesem mitgenommen, d. h. abgeschlämmt. Nach *Seger* bezeichnet man die Tonteile, die in der Sekunde bei einer Strombewegung
- von 0,2 mm übergehen, als Ton,
- von 0,7 mm übergehen, als Schluff,
- von 1,5 mm übergehen, als Staubsand,
- von 2,0 bis 2,5 mm übergehen, als Feinsand.

(s. Bild).

s. Systeme, disperse



Schlämmapparat nach *Schulze-Harkort*

V Schlämmgeschwindigkeit
h Druckhöhe
L Rohrlänge
H Niveauhöhe
a Düsenabstand
d Düsendurchmesser
D Niveaudurchmesser
K Konstante
S Halterung

$$V = K \frac{d^2 \sqrt{2gh}}{D^2}$$

Schlämmkreide – *feingemahlene und durch einen Schlämmprozeß gereinigte Kreide ($CaCO_3$). Verwendung:* Poliermittel, Glasurrohstoff.

Schlangenhautglasur – *eine infolge hoher Oberflächenspannung und damit verringerter Benetzungsfähigkeit gegenüber dem keramischen Scherben sich zu Inseln zusammenziehende Glasur.* Die Oberflächenspannung einer Glasur kann durch gesteigerten Al_2O_3-Anteil erhöht werden. Eine zunehmende Auftragsdicke der Glasursuspension – meist durch Spritzen aufgetragen – begünstigt das Entstehen von Inseln. Zahlreiche Farboxide beeinflussen die Inselbildung ebenfalls günstig. Sch. neigen stark zum Entmischen.

Schlankheitsgrad (λ) – *bei schlanken Bauteilen das Verhältnis der Knicklänge l_K zum kleinsten Trägheitsradius i_{min}, der seinerseits von Fläche und Form des Querschnitts abhängig ist.* Es gilt:

$$\lambda = l_K / i_{min},$$

$$i_{min} = \sqrt{I_{min}/A}$$

I kleinstes axiales Trägheitsmoment des Querschnitts
A Querschnittsfläche.

Der Sch. hat überall dort Bedeutung, wo schlanke Bauteile auf Knickung beansprucht werden.

In der Setztechnologie beim Brennen keramischer Großkörper wird als Sch. kurz das Verhältnis von Länge des Artikels zum Durchmesser seiner Standfläche bezeichnet, und als Faustregel gilt: Ist der Sch. größer als 6:1, müssen die Artikel hängend gebrannt werden, anderenfalls würden sie sich beim Brande durchbiegen.

Schleifen – *spanendes Bearbeitungsverfahren mittels einer Großzahl von Schleifkörnern, sog. Schleifmittel**, die gleichzeitig bzw. unmittelbar nacheinander zum Angriff kommen.

Sch. kann mit losem Korn, das meist in Form einer Paste oder Suspension zugeführt wird, oder mit gebundenem Korn, den Schleifkörpern*, erfolgen. Entsprechend den verschiedenen Schleifarbeiten kommt eine Vielzahl von Schleifmaschinen zum Einsatz. Unter den Schleifwerkzeugen nehmen die um die eigene Achse umlaufenden Schleifkörper den ersten Platz ein.

Beim Sch. in der Keramik handelt es sich meist um eine Form der Nachbearbeitung, wie Einengung von Maßtoleranzen, Verbesserung der Oberflächengüte*, Beseitigung von Oberflächenfehlern, Trennschleifen von Bomsen bei hängend gebrannten Artikeln u. a.

Durch Sch. erreichbare Toleranzen hängen im wesentlichen von den eingesetzten Maschinen und von der Natur der Schleifmittel ab. Als Richtwert kann ±0,01 mm angesehen werden (bei großem Aufwand sind auch noch engere Toleranzen möglich). [123, 492, 493]

s. Läppen, Honen, Polieren

Schleifkörper – *Verbundwerkstoffe, die aus einem Schleifmittel*, einer Bindematrix und Poren* bestehen.* Gewöhnlich wird von Pulvermischungen aus Schleif- und Bindemitteln ausgegangen, die

durch Druck geformt werden und durch eine Temperaturbehandlung ihren Gebrauchszustand erhalten. Sch. sind Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide und dienen zur spanenden Bearbeitung von nahezu allen gebräuchlichen Werkstoffen.

Das Schleifmittelkorn ist das eigentliche Werkzeug, das den Span vom Werkstück ablöst. Die Bindematrix hält den Kornverband zusammen und beeinflußt entscheidend den Vorgang des Schleifens*. Die Bindemittel werden eingeteilt in:

1) anorganische Bindemittel, wie
- keramische Bindemittel (Ker), internationales Kurzzeichen V, bestehend aus porzellanähnlichen Massen, Brenntemperaturen etwa 1 000 bis 1 400 °C
- silicatische Bindemittel (SiL), internationales Kurzzeichen S, auf der Basis von Wasserglas*, Aushärtung der Sch. bei 200 bis 300 °C,
- Magnesiabindemittel (Mag), internationales Kurzzeichen Mg, auf der Basis von MgO und $MgCl_2$, Erhärten ohne Wärmezufuhr und

2) organische (elastische) Bindemittel, wie
- Kunstharzbindemittel (Khz), internationales Kurzzeichen B, Aushärten der Sch. bei etwa 200 bis 220 °C,
- Gummibindemittel (Gum), internationales Kurzzeichen R, Vulkanisierung bei 200 bis 240 °C.

Die Poren und ihre Verteilung beeinflussen insbesondere die Standfestigkeit der Sch. und führen die Kühlflüssigkeit dem zu schleifenden Material zu.

Eine Sonderstellung unter den Sch. nehmen die in der Keramik in zunehmendem Maße eingesetzten Diamantschleifkörper ein. Sie bestehen aus einem Tragkörper (Stahl, Leichtmetall), einer Diamantträgerschicht aus Bronze bzw. Kupfer, in die der Diamantbort in mehr oder weniger starker Konzentration eingebettet ist. Die Diamantkonzentration (oder Besatz) wird in Karat* je cm^3 ausgedrückt; üblich sind die Konzentrationen 50, 100 und 150. Die Konzentration 100 bedeutet einen Diamantgehalt von 4,4 Karat je cm^3 Schleifbelag.

Sch. dürfen nur verwendet werden, wenn folgende Daten bekannt sind:
- Herstellerzeichen,
- Kurzzeichen der Bindung,
- Kurzzeichen der Körnung,
- Kurzzeichen der Härte,
- höchstzulässige Umfangsgeschwindigkeit in $m\,s^{-1}$ und die entsprechende Drehzahl.

[123, 397, 491, 493]

Schleifkörperhärte – *Widerstand, den die Bindematrix den Kräften entgegensetzt, die das einzelne Korn beim Durchgang durch den zu bearbeitenden Werkstoff aus dem Schleifkörperverband herauszureißen versuchen,* d. h., die Härte des Schleifkörpers ist weitgehend unabhängig von der Härte des Korns. Es ist üblich, die Härte der Schleifkörper mit den Buchstaben G bis U zu bezeichnen, wobei G den niedrigsten und U den höchsten Härtegrad angibt.

Schleifmittel – *die schleifenden Bestandteile eines Schleifkörpers.* Sie müssen eine entsprechende Härte sowie in Form, Größe und Zusammensetzung eine weitgehende Einheitlichkeit aufweisen; man kennt natürliche und synthetische Sch., die wichtigsten sind:

1) Diamant* – Härte 10 nach *Mohs*, wertvollstes Sch. Es werden sowohl Naturdiamanten, neuerdings in großem Umfang auch synthetische Diamanten, eingesetzt; letztere haben den Vorteil, daß bei der Synthese die Kornform beeinflußt werden kann.

2) Elektrokorund* – als Normal-, Halbedel-, Edel- und rubinroter Edelkorund; Härte 9 nach *Mohs*. Korunde vertragen große Schleifkräfte, beim Zersplittern bilden sich neue kleinere Schneiden. In der Keramik wird der rubinrote Edelkorund bevorzugt eingesetzt.

3) Siliciumcarbid* – Härte 9,5 nach *Mohs*, liegt in Form scharfkantiger Kristalle vor und besitzt relativ kleine Keilwinkel. Die hohe Ritzhärte macht Siliciumcarbid für das Spanen besonders harter, spröder, kurzspanender Werkstoffe geeignet.

4) Borcarbid – Härte 9,3 nach *Mohs*, zeichnet sich durch hohe Wärmebeständigkeit aus.

5) Kubisches Bornitrid – Härte 9,8 nach *Mohs*, Handelsnamen Elbor, Kuborit, Borazon, übertrifft alle herkömmlichen Sch. außer Diamant.

Aufgrund seiner hohen Wärmebeständigkeit = 1 300 bis 1 600 °C (demgegenüber Diamant 750 bis 900 °C) eignet es sich besonders zum Schleifen von spanabhebenden Werkzeugen und Laufbahnen von Wälzlagern.

Die übrigen Sch., wie Schmirgel, Sandstein, Glasflint u. a., sind von untergeordneter Bedeutung.

Schleifpapier – *auf einer Papier- oder Gewebeunterlage mit Bindemittel befestigte Schleifmittelkör-*

nung. Man unterscheidet:
- Schleifleinen (nur in Blattform),
- Schleifpapier und Schleifkörper (in Blättern, Rollen, endlosen Bändern, Formteilen),
- Schleiffiber (in Rollen, Streifen, endlosen Bändern),
- Schleifkombinationen (Papier mit Gewebeauflage (in Rollen, Streifen, runden Schleifblättern, Formteilen)).

Die einzelnen Schleifpapiersorten werden jeweils nach dem Bestreuungsmittel, z. B. Korundköper, Glaspapier usw., benannt.

Schleifverfahren in der Keramik – Im allgemeinen dient Schleifen* in der Keramik der Nachbearbeitung, wobei meist nur Einzweckmaschinen für Naßschliff zur Anwendung kommen. Die gebräuchlichsten Verfahren sind:

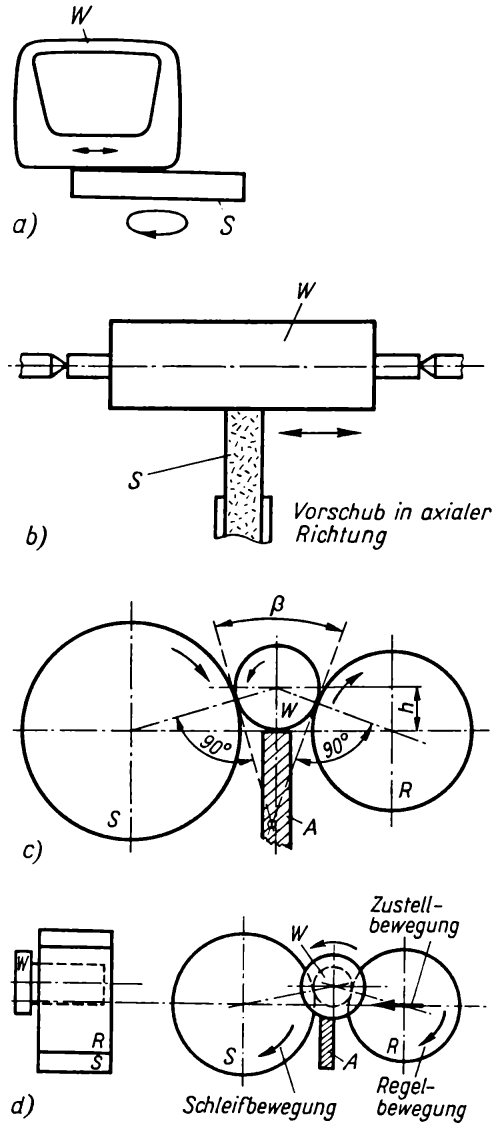
1) Flachschleifen, d. h. Schleifen ebener Flächen (z. B. Teilstücke von Kolonnen*, die vakuumdicht aufeinandergepaßt werden; Planschliff der Füße von Tellern, Tassen, Platten u. a.) mit Schleifwerkzeugen, die sowohl an ihrem Umfang als auch in ihrer Schleifhöhe wirken können; entsprechend werden Senkrecht- oder Horizontalschleifmaschinen eingesetzt, s. Bild *a*).

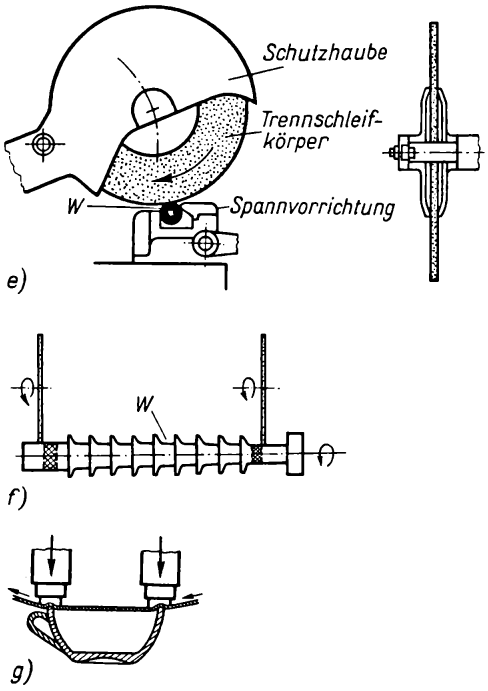
2) Außenrundschleifen, wobei unterschieden wird zwischen
- Rundschleifen zwischen zwei Spitzen, d. h., das Werkstück wird an beiden Stirnseiten zentriert (Bild *b*), und
- spitzenlosem Rundschleifen; hierbei wird das Werkstück ohne jede Einspannung oder Zentrierung in der Maschine von der Schleifscheibe erfaßt und geschliffen. Das Werkstück liegt auf einer Unterlage und kann sich um die Längsachse drehen (Bild *c*), z. B. Schleifen von Achsen, Wellen oder Rohren. Die Drehung wird durch die Schleifscheiben bewirkt, sie darf jedoch nicht über einen bestimmten Wert gesteigert werden.

3) Einstechschleifen; das Werkstück liegt zunächst frei auf der Auflageschiene; erst durch die Bewegung eines Handhebels wird die laufende Regelscheibe der sich ebenfalls drehenden Schleifscheibe genähert, dabei wird das Werkstück von der Regelscheibe gegen die sich mit höherer Geschwindigkeit drehende Schleifscheibe gedrückt, von dieser erfaßt und in Drehung versetzt (Bild *d*). Nach diesem Verfahren werden z. B. die verschiedensten Ferriterzeugnisse geschliffen.

4) Trennschleifen zum Schneiden, Schlitzen und Einkerben von Keramikkörpern, Abtrennen der Bomse von hängend gebrannten Langstäben u. a. (Bilder *e* und *f*).

5) Weitere Verfahren sind Profilschleifen (z. B. Tassenrandschleifen mittels Schleifbändern, welche durch entsprechende Anordnung der Schleiffüße rillenartig um den Tassenmund gedrückt werden (Bild *g*). Innenrundschleifen bzw. Bohrungsschleifen, Fehlerschleifen, Gewindeschleifen und





a) Flachschleifen
b) Spitzenrundschleifen
c) spitzenloses Außenrundschleifen
d) Einstechschleifen, schematische Darstellung
e) Trennschleifen
f) Trennschleifen
g) Profilschleifen

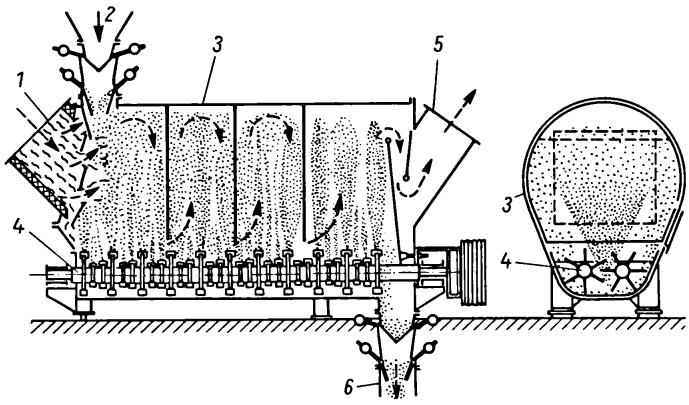
S Schleifscheibe
K Regelscheibe
W Werkstück
A Auflegeschiene
R Regelscheibe

Schleifen von Kugelflächen. Für diese Verfahren sind besondere Schleifkörper in Spezialschleifmaschinen im Einsatz.
[133, 494, 495]

Schleudergießverfahren – ein Gießverfahren, bei dem die Formen rotieren und durch die auftretenden Fliehkräfte das Wasser der Gießmasse (Schlicker) in den Gips hineingedrückt wird. Die Scherbenbildung wird dadurch beschleunigt.

Schleudertrockner – *Trocknungsaggregat* für ungeformtes, stückiges Gut mit Kantenlängen <40 mm.
Sch. sind mit Wellen ausgerüstet, an denen schaufelartige Vorrichtungen angebracht sind, die das zu trocknende Gut in den Trockenraum schleudern. Im Trockenraum wird das Gut allseitig von extern zugeführten Rauchgas-Luft-Gemischen mit Temperaturen von 650 bis 750 °C umspült und getrocknet. Die Anordnung der Schaufeln ist so gerichtet, daß das Trockengut während des Trockenvorgangs vom Trocknereinlauf zum Trockneraus-lauf transportiert wird (s. Bild S. 395). Durch die intensiven Bewegungen wird viel Feingut erzeugt, deshalb müssen die Abgase Entstaubungsanlagen passieren.
Sch. erbringen je nach Baugröße Wasserverdampfungsleitungen von 100 bis 6 000 kg h^{-1}.
Verwendung: vorwiegend in der Ziegel- und Feuerfestindustrie.
[143]

Schlicker – *wäßrige Aufschlämmung (Suspension) eines Tones oder Kaolins bzw. einer keramischen Masse oder Glasur zur Vorbereitung der Formgebung durch Gießen, zum Verbinden grüner Stücke durch Garnieren und zum Glasieren.* Die Überführung in den Sch. erfolgt in Rührbottichen mittels Quirls, wobei man insbesondere die verflüssigende Wirkung von Na-Salzen anorganischer (Silicate, Phosphate) und organischer Natur, der sog. *Peptisatoren*, ausnutzt. Peptisatoren verhindern durch den Abstoßeffekt elektrisch geladener Teilchen weitgehend das Absetzen der in der Schwebe zu haltenden Teilchen. Die Stabilität eines Sch. kann durch Zufügen von Schutzkolloiden (Humus, Quebrachoextrakt u. a.) wesentlich erhöht werden.
Zur Sicherung einer ausreichenden Trockenbiegefestigkeit der Formlinge werden zweckmäßig organische Binder zugesetzt. Auch der Zusatz von Entschäumern ist zu empfehlen. Um optimale Arbeitsbedingungen für die nachgeschalteten Arbeitsprozesse einzuhalten, müssen Sch. einer laufenden Kontrolle unterzogen werden. Im allgemeinen müssen Veränderungen in bezug auf Feststoff-, Peptisatoren- oder Wasseranteil vorgenommen werden. Sich ändernde Einflußgrößen sind:
- Veränderungen des Versatzes in Mineralgehalt und Körnungskurve,
- unterschiedlicher Wassergehalt der Filterkuchen,
- unterschiedlicher Gehalt an Peptisatoren (manchen Rohstoffen werden bei der Aufbereitung absichtlich Peptisatoren zur leichteren Dispergierung zugesetzt),



Prinzip eines Schleudertrockners (Typ Hazemag)
1 Heißgaseintritt
2 Materialeinlauf
3 Gehäuse
4 Schleuderwellen
5 Absaugaustritt
6 Materialauslauf

– Verwendung von Gießabfällen, die Gips, organische Anteile u. a. enthalten können,
– Schwankungen in der Lagerzeit der Sch.

Zur Feststellung der rheologischen Eigenschaften sollten die scheinbare Viskosität (Auslaufzeit eines bestimmten Volumens) und die Dichte (sog. *Litermasse**) bestimmt werden; *p*H-Wert und Wasseruntersuchungen sind oft zweckmäßig. Trotz aller Kontrollen kommt es vor, daß beim Vergießen von Sch. technologische Einbrüche auftreten.

Wahrscheinlich sind viele Sch. gegenüber Fremdionen sehr empfindlich, ohne daß ihre gegenseitige Beeinflussung völlig bekannt ist. Vorhandene organische Begleitstoffe haben oft tiefgreifenden Einfluß, der nicht sofort zu erkennen ist.

In letzter Zeit werden auch tonfreie Massen (Tonerde, Siliciumcarbid, Pulvermetalle u. a.) in die Schlickerform überführt, wobei man als Verflüssiger Säuren und Laugen heranzieht. Besonderes Augenmerk ist in diesen Fällen auf das Körnungsband (die mittlere Korngröße sollte 5 µm nicht übersteigen) und den *p*H-Wert zu legen. Die Anwesenheit von kolloiden Teilchen wirkt sich günstig aus.

Schlickermalerei – *eine Dekorationsmethode in kleineren Töpfereien zur malerischen Verzierung.* Striche, Punkte, Bänder werden auf weißen oder farbigen Untergrund von Vasen, Töpfergeschirr, Kacheln manuell mit Hilfe eines Malhörnchens* entweder auf den lederharten Formling oder nach dem Glühbrand (Schrühbrand) aufgetragen.

Der Schlicker muß reinfarbig ausbrennen (weiß oder durch entsprechende Oxide gefärbt) und die gleiche Schwindung wie der Scherben aufweisen.

Schlittenofen – *s.* Schnellbrandofen

Schloß – *das Paßstück bei geteilten Gipsformen.* Dadurch wird das notwendige Festsitzen der Formenteile (Seitenteile, Gieß- oder Kopfstück, Bodenstück) gewährleistet.

Schluff – Bezeichnung für die Kornfraktion 0,025 bis 0,010 mm in natürlichen, lockeren Sedimenten.

Schmauchen – *eine bei Kammeröfen übliche Bezeichnung für das Vorfeuer, den ersten Abschnitt eines keramischen Brandes.* Hier wird das Brenngut vorgewärmt. Durch langsames Anheizen (bis etwa 150 °C) wird die von der Trocknung zurückgebliebene Restfeuchtigkeit (mit heißer trockener Luft) ausgetrieben. Das Sch. ist u. a. auch notwendig zur Herstellung reinfarbiger Ziegel. *Schmauchrisse* können sich bilden, wenn frische, kalte Formlinge im Ofen mit wasserdampfhaltigen Abgasen angewärmt werden. Durch Unterschreitung des Taupunktes kommt es zur Kondensatbildung von Wasser auf der Oberfläche des Formlings (Ziegel), und dieser weicht auf. Da anschließend die Temperatur stärker ansteigt, entweicht das Wasser zu schnell, und es entstehen die oberflächlichen Schmauchrisse. Tiefergehende Risse sind auf mangelhafte Trocknung zurückzuführen.

Verschmauchungen sind Anflüge auf der Oberfläche von meist weißer Farbe, hervorgerufen durch $CaSO_4$, das sich aus dem Kondenswasser, dem SO_2 schwefelhaltiger Kohle und dem Kalk der Masse gebildet hat.

Schmelze – eine oft noch übliche Bezeichnung für Dekorbrennöfen.

Schmelzen – *isothermer Übergang eines Stoffes vom festen in den flüssigen Aggregatzustand.* Wird einem festen kristallinen Stoff Wärme zugeführt,

so werden die Schwingungen der Gitterbausteine verstärkt, bis schließlich bei einer bestimmten Temperaturhöhe – dem sog. Schmelzpunkt oder Fließpunkt – das Gitter zusammenbricht. Die Temperatur des Systems kann erst dann weiter steigen, wenn die gesamte Kristallphase verschwunden ist. Der Übergang eines Kristalls in die Schmelze gleicher Zusammensetzung (sog. kongruentes Schmelzen mit fester und flüssiger Phase gleicher chem. Zusammensetzung) stellt einen Gleichgewichtsprozeß dar. Es gilt:

$$\Delta G = \Delta H_S - T_S \Delta S_S = 0$$

ΔG Änderung der freien Enthalpie
ΔH_S Änderung der Enthalpie*
ΔS_S Änderung der Entropie*
T_S Schmelztemperatur.

Beim Schmelzen wird die Entropie erhöht; die meisten Körper dehnen sich beim Sch. aus (Ausnahme: Wasser). Schmelztemperatur und Erstarrungstemperatur (Kristallisationstemperatur) sind identisch. Eine Überhitzung beim Sch. ist nicht möglich, jedoch eine Unterkühlung, d. h., eine thermodynamisch metastabile Schmelze kann bis zu Temperaturen existieren, bei denen sie schon im festen Zustand vorliegen müßte. Dies ist dann der Fall, wenn zur Erstarrung die erforderlichen Kristallisationskeime fehlen.

Tatsächlich ist die herkömmliche Unterscheidung zwischen fester und flüssiger Phase vom strukturellen und thermodynamischen Standpunkt nicht befriedigend, es treten nämlich bei Kristallen bereits unterhalb T_S Vorschmelzeffekte auf (umgekehrt beobachtet man in vielen Schmelzen in der Nähe des Schmelzpunktes geordnete Bereiche, deren Strukturen den Nahordnungsstrukturen der zugrunde liegenden Kristalle entsprechen: sog. Vorerstarrungseffekte). Der Schmelzvorgang ist mit bestimmten Fehlordnungsgraden gekoppelt. Da in den verschiedenen Kristallstrukturen unterschiedliche Fehlordnungsmöglichkeiten bestehen, entspricht einer bestimmten Struktur ein eigener Schmelzmechanismus. Über den Schmelzprozeß gibt es folgende (vereinfachende) Theorien:

1) Der Schmelzvorgang läuft als Punktfehlordnung (z. B. *Frenkel*fehlordnung) durch aktiviertes Springen der Bausteine mit Impulsübertragung ab; am Schmelzpunkt herrscht Gleichgewicht zwischen wenig fehlgeordnetem Kristall und erheblich fehlgeordneter Schmelze.

2) Der Schmelzvorgang läuft als Kettenmechanismus mit Hilfe von Versetzungen in der Art eines Reißverschlußmechanismus ab, d. h., der Kettenmechanismus postuliert einen (gegenüber *1*)) zusätzlichen Impulstransport durch die Bewegung von Versetzungen.

[17, 56, 64]

Schmelzen, inkongruentes – *Zerfall eines Stoffes bei einer bestimmten Temperaturhöhe in eine neue Stoffart und eine Schmelze, deren chemische Zusammensetzung anders ist als der Ausgangsstoff.* Bei Steigerung der Temperatur schmilzt auch der neugebildete Stoff, so daß die Schmelze die gleiche Zusammensetzung hat wie der Ausgangsstoff. Ein bekanntes Beispiel ist der Schmelzprozeß des Kalifeldspates. Dieser geht bei etwa 1 150 °C in eine SiO_2-reiche Schmelze und Leuzit $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2$ als Neubildung über. Ein vollständiges Schmelzen wird erst etwa bei 1 510 °C erreicht.

Schmelzfarben – *s.* Aufglasurfarben

Schmelzglasur – *Bezeichnung für niedriger schmelzende, weiße, getrübte Glasuren, sog. Fritteglasuren (s. Fritte).* Anstelle des reinen SnO_2 wird oft der Äscher* verwendet. Sch. wird bei Majolika, Fayence und Berliner Kacheln angewendet.

Schmelzintervall – *Temperaturbereich zwischen beginnender Erweichung und völligem Schmelzfluß.* Sch. treten bei Gläsern, amorphen Stoffen und Mehrkomponentensystemen – außer eutektischen Mischungen – auf. Innerhalb eines Sch. ändert sich die Viskosität in Abhängigkeit vom Fehlordnungsgrad (einschl. Assoziationen und Aggregationen). So spricht man z. B. von langem Glas, wenn sich das Sch. über einen großen Temperaturbereich erstreckt (womit eine leichtere Bearbeitung gegeben ist), andernfalls von kurzem Glas. Bei keramischen Massen wird das Sch. durch Flußmittel erheblich verbreitert, eine Erscheinung, die man beim Sintern ausnutzt.

Schmelzkachel – aus hellfarbig brennenden kalkhaltigen Tonen hergestellte poröse Kachel mit opaken zinnoxidhaltigen oder zinnäscherhaltigen Fritteglasuren.

s. Meissener Kacheln

Schmelzkuchenprobe (Schmelzbecherprobe) – *Verfahren nach Singer zur Überprüfung des Zusammenpassens von Glasur und Scherben.*

In geglühte Becher aus der zu untersuchenden Masse wird eine größere Menge trockene, gepul-

verte Glasur eingeschmolzen, so daß ein dicker Glasurkuchen entsteht. Zeigen sich nach dem Erkalten in der Schmelze Risse, so liegt Neigung zur Haarrissigkeit vor, umgekehrt deutet ein Springen des Bechers auf Kantenabsprengungen. (Die Prüfung ist sehr empfindlich, so daß selten eine völlig rissefreie Glasur im Becher erhalten wird.) [100, 164]

Schmelzmagnesia – *ein im Schmelzfluß gewonnenes Periklas-Erzeugnis**. Hierzu wird Sintermagnesia bzw. calcinierte Magnesia im elektrischen Lichtbogenofen geschmolzen. Durch eine gesteuerte Kristallisation* erreicht man, daß etwa mit vorhandenes CaO an SiO_2 gebunden wird, so daß als Endprodukt Periklaskristalle hoher Reinheit vorliegen.

Die technischen Parameter der Sch., wie Druckfeuerbeständigkeit oder Verschlackungsbeständigkeit u. a., liegen über denen von Sintermagnesia. [168]

Schmelzpunkt (Fließpunkt T_s) – *die Temperatur, bei der ein fester Stoff in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.* Sch. und Erstarrungspunkt (Gefrierpunkt) sind identisch. Die dabei auftretenden Wärmeeffekte unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen. Für reine Stoffe (Kristalle) und eutektische Legierungen ist der Sch. ein thermometrischer Fixpunkt, dagegen weisen amorphe Stoffe und Stoffgemische (Legierungen) ein Schmelzintervall auf. Der Sch. ist vom Druck abhängig, er steigt bei den meisten Stoffen mit wachsendem Druck (Ausnahme: Wasser).

Schmelztiegel – auf der Basis hochbildsamer, niedrig sinternder Tone, feinkörniger Schamotte, Graphit und ggf. noch mit Zusätzen von Siliciumcarbid hergestellte ff. Gefäße zum Erschmelzen von Metallen. In Sonderfällen werden Sch. auch aus reinem Korund hergestellt.

s. Graphit

Schmelzzement – *eine Mischung aus Schwefel, Sand bzw. Quarzmehl und ggf. Graphit,* die auf etwa 130 °C erwärmt und in dickflüssigem Zustand zur Kittung von Armaturen auf Hochspannungsisolierkörper verwendet wird.

Der Härteprozeß dauert nur wenige Minuten. Der Kitt ist elastisch und paßt sich bei mechanischer Beanspruchung den keramischen und metallischen Flächen gut an. Sch. ist witterungsbeständig. An Nachteilen sind zu nennen: es können nur verzinkte Armaturen verwendet werden, außerdem ist Sch. nicht öldicht, und bei höheren Temperaturen löst sich die Verbindung. [14]

Schneckenpresse – *eine Aufbereitungs- und Formgebungsmaschine in der grob- und feinkeramischen Industrie zur Herstellung von Voll- und Hohlsträngen, Steinzeugröhren mit und ohne Muffe, Vollstäben, profilierten Strängen, homogenisierten und entlüfteten Drehmassen u. a.* Verwendet werden Tone, Kaoline und keramische Massen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 17 bis 25 %. Die verschiedenen Typen von Sch. können mit ein, zwei oder drei Schnecken, mit und ohne Vakuum, mit und ohne Dampfzufuhr arbeiten (Arbeitsweise s. Vakuumstrangpresse). Die Kennziffern der verschiedenen Typen (Gangzahl, -höhe, Schneckensteigungswinkel, Zylinderdurchmesser usw.) werden in der sog. *Schneckengeometrie* zusammengefaßt.

s. Vakuumstrangpresse

Schneidkeramik – *Werkstoffe auf der Basis von Sinterkorund zum spanabhebenden Formen metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe.* Außer α-Al_2O_3 enthalten sie zur Verbesserung der Zähigkeit geringe Mengen eines Binders und größere Anteile an Molybdän, Molybdäncarbid, Chromoxid u. a. Sch. zeichnet sich durch hohe Wärmehärte und Verschleißfestigkeit aus und ermöglicht die Anwendung hoher Schnittgeschwindigkeiten.

Schnellbrand – *ein gegenüber dem konventionellen keramischen Brand zeitlich verkürztes Brennen eines bestimmten keramischen Werkstoffes.* Die Durchführung erfolgt in speziell entwickelten Schnellbrandöfen*.

Schnellbrand keramischer Produkte stellt nach *D. Harkort* das Optimum dar, das sich aus den Wechselbeziehungen von Masse und Glasur, Formgebung, Formgestalt der Artikel, Trocknung, Brenntemperatur und Zeit, Ofentyp, Besatzweise, Brennhilfsmittel und den resultierenden Werkstoffeigenschaften erzielen läßt. Sowohl der konventionelle Brand als auch der angestrebte Sch. sind durch Aufheizvorgang – Garbrand – Abkühlung charakterisiert, jedoch müssen sich die Prozesse innerhalb des keramischen Scherbens beim Sch. in wesentlich kürzerer Zeit vollziehen. In jedem Fall laufen Vorgänge ab, die einen gewissen Zeitbedarf erfordern und deren Nichteinhaltung zu fehlerhaften Werkstücken oder unzureichenden Eigenschaften führt. Aus diesen Erkenntnissen müssen sowohl masse- als auch verfahrenstechnisch solche Voraussetzungen geschaffen

werden, die dem verkürzten Reaktionsablauf Rechnung tragen, z. B.:
- Inhomogenitäten bei der Formgebung machen sich beim Trocknen und Brennen durch Aufbau von Spannungen und nachfolgenden Deformationen oder Rissebildungen bemerkbar. Eine Milderung kann durch ausgewogene Formen erreicht werden, d. h., eine Form darf nicht durch einseitige Gravitation belastet werden. Isostatisch gepreßte Artikel scheinen im Vorteil zu sein.
- Magere Massen bzw. Massen mit vorgebranntem Kaolin oder feingemahlenen Glattscherben verhalten sich günstig.
- Der Ofen muß in bezug auf Atmosphäre und Temperatur leicht regelbar und flexibel sein und über den Querschnitt eine homogene Temperaturverteilung aufweisen.
- Die zulässigen Aufheizgeschwindigkeiten lassen sich unter bestimmten Annahmen berechnen. *Schulle* nennt für poröse Wandplatten 50 K min^{-1}, *Kröckel* gibt beim Porzellanbrand von Zylindern mit 20 cm Durchmesser im Temperaturbereich von 400 bis 700 °C 44 K min^{-1} an.
- Die Höhe der Temperatur und Verweilzeiten sind zwar massespezifisch – Modifikationswechsel und Entgasungen benötigen eine bestimmte Zeit –, können aber über die Wandstärken der Artikel und die Korngröße beeinflußt werden (soweit 60 % des Quarzes <2 µm sind, bereitet er keine Schwierigkeiten).
- Das Ausbrennen des katalytisch und nach dem *Boudouard*schen Gleichgewicht* abgelagerten Kohlenstoffes muß beachtet werden.
- Zusätze von Mineralisatoren* sind zweckmäßig.
- Erste Schmelzphasen sind beim Porzellanbrand etwa ab 920 °C zu erwarten (bei Albit*), mangels Zeit unterbleibt jedoch weitgehend die Auflösung von Schuppenmullit.
- Bei extremer Kornfeinheit sind Glattbrandtemperaturen bei Hartporzellan von 1 300 °C ausreichend.
- Sturzkühlung ist bis zum Transformationsintervall der Glasphase möglich.

Zu den Ergebnissen des Sch. werden in der Literatur folgende Aussagen getroffen:
- Energieeinsparungen von 30 bis 40 % gegenüber konventionellen Bränden sind real.
- Festigkeitsminderungen der Werkstoffe werden im allgemeinen nicht beobachtet.
- Bei Porzellan wird die Transparenz geringer, während der Weißgehalt gesteigert wird.

[14, 133, 143, 497, 498, 500, 501]

Schnellbrandöfen – *meist kanalförmige Brennaggregate,* die zur Durchführung des Schnellbrandes* gegenüber den konventionellen keramischen Tunnelöfen eine Reihe von konstruktiven und technologischen Veränderungen aufweisen:
- die Kanalhöhe ist zu Gunsten der Kanalbreite stark vermindert,
- die Wärmezuführung erfolgt meist als Ober- und als Unterhitze, wobei bereits in der Vorwärmzone Brenner eingebaut sind,
- die Steuerung der Ofenatmosphäre erfolgt durch spezielle Ausführung der Brenner, die hohe Luftüberschüsse ermöglichen, und sanft steuerbare Ventile,
- die Homogenität der Temperatur über den Ofenquerschnitt wird durch Hochgeschwindigkeitsbrenner sichergestellt,
- die Steuerung der Ofenatmosphäre und die Regelung der Temperatur sind sehr flexibel und lassen sich leicht an veränderliche Warengattungen, entsprechend den Marktanforderungen, anpassen,
- die Wärmeverluste sind durch hochwertige Isolationsmaterialien, wie z. B. konfektionierte keramische Fasern*, ohne große Masse und Wärmekapazität auf ein Minimum reduziert,
- die Ware wird meist einschichtig und ohne Brennhilfsmittel gebrannt; sind Brennhilfsmittel unumgänglich (z. B. bei feinkeramischer Flachware), so sind sie von höchster mechanischer und thermischer Festigkeit (z. B. rekristallisiertes SiC) und in ihrer Masse stark vermindert (z. B. perforierte Platten),
- die Schubzeiten sind stark verkürzt, so daß Ofenreisen je nach Warengattung zwischen 2 und 12 Stunden liegen können.

Nach Art der gewählten Transportmethode für das Brenngut kann man die Sch. klassifizieren in:
- *Schubplattenöfen*
  Das Brenngut wird auf feuerfesten Platten mittels eines Vorschubmechanismus, der außerhalb des Ofens angeordnet ist, durch den Brennkanal geschoben.
- *Schlittenöfen*
  Das auf einer Art Schlitten bzw. Stiftgittern be-

findliche Brenngut gleitet auf Kufen durch den Ofen.

- *Flachbrandtunnelöfen* mit Brennwagen
  Es handelt sich um einen wesentlich verbreiterten konventionellen Tunnelofen, bei dem der Wagen nur mit einer Schicht von Brenngut besetzt wird.
- *Rollenöfen**
- *Bandöfen*
  Die Ware gleitet auf einem endlosen Förderband aus hitzebeständigen Fe-Cr-Ni-Legierungen durch den Ofen; die Verweilzeiten werden über die Bandgeschwindigkeit gesteuert. Die Bänder selbst bestehen aus Gliedern und weisen eine Breite bis etwa 500 mm auf. Im Prinzip können Förderbandöfen bis 1150 °C gefahren werden. Wegen der Verzunderung der Förderbänder werden sie jedoch meist für Dekorbrände bei 800 bis 900 °C eingesetzt.

In der Literatur werden noch folgende Ofenkonstruktionen diskutiert:

- *Kugelöfen*
  In Abwandlung des Schubofens gleitet die Ware auf kleinen Korundkugeln, die in aufgesägten Korundröhren lagern, durch den Ofen.
- *Luftkissenöfen*
  Die Ware wird von einem Luftstrom, der durch Düsen aus dem Boden des Ofens austritt, leicht angehoben und vorwärtsbewegt. Der Luftstrom ist sowohl Energieübertrager als auch Transportmittel. Schwierigkeiten bereitet jedoch die Führung der Ware auf dem Luftbett.
- *Magnetschlittenöfen*
  Hier gleiten Schlitten, deren Führung außerhalb des Ofens in einem Magnetfeld aufrechterhalten wird, durch den Ofen.

[502]

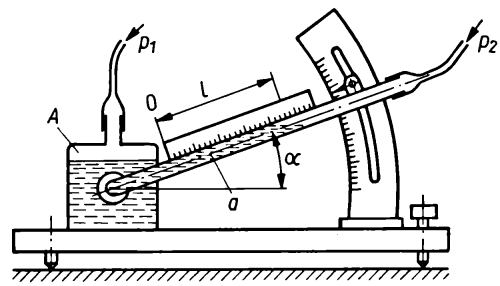
Schnelltrockner – *Anlagen, in denen durch einschichtige Anordnung der Formlinge und intensive Belüftung Trocknungszeiten von 20 bis 30 min erzielt werden.*

Das Trockengut wird durch ein geeignetes Transportsystem durch den Trockner und an den Belüftungsorganen vorbeigeführt. Im Bereich der Belüftungsorgane wird das Gut von einem definierten Luftstrom hoher Geschwindigkeit mittels Düsen kontinuierlich oder intermittierend angeströmt. Sch. eignen sich nur für Formlinge mit Scherbendicken $\leqq 6$ mm. In der Anschaffung und im Einsatz liegen sie gewöhnlich kostenungünstiger als die herkömmlichen Trockner. [143]

Schoopen (Flammenspritzen) – *ein nach dem Schweizer Schoop benanntes thermisches Verfahren zum Aufbringen metallischer Überzüge auf nichtmetallische oder metallische Werkstücke.* Das aufzuspritzende Metall wird einer Spritzpistole in Drahtform oder als Pulver zugeführt, im Brenngas-Sauerstoff-Strom oder auf andere Weise geschmolzen und mit Hilfe von Druckluft auf den aufgerauhten Gegenstand geschleudert. Die Schicht haftet durch mechanische Verklammerung, z. T. auch durch partielle Kohäsion.

***Schottky*-Defekt** – *Grundtyp einer Fehlordnung*; Leerstellen im Kationen- und Anionenteilgitter.* Vom Anti-Schottky-Defekt spricht man, wenn Kationen und Anionen Zwischengitterplätze einnehmen.

Schrägrohr-Mikromanometer – *Gerät zum Messen von niedrigen Drücken bzw. kleinen Druckdifferenzen* (s. Bild).



Schrägrohr-Mikromanometer

Im Prinzip stellt das Sch. ein U-Rohr dar, bei dem der eine Schenkel um den Winkel α geneigt ist. Dadurch erhält das Gerät eine etwa um den Faktor 10 größere Genauigkeit gegenüber dem U-Rohr. Die Ableseschwelle liegt damit bei etwa 10^{-2} Pa.

Stimmen im drucklosen Zustand der Anfangspunkt der neben dem schrägen Rohr befindlichen Skala und die Höhe des Flüssigkeitsspiegels überein, dann kann bei anliegendem Druck durch die Änderung des Flüssigkeitsspiegels die Druckdifferenz Δp aus folgender Beziehung berechnet werden:

$$\Delta p = g\,(\varrho_2 - \varrho_1)\,l\,[\sin\alpha + (a/A)]$$

Δp gemessene Druckdifferenz (in N m^{-2})
g Erdbeschleunigung 9,81 m s^{-2}

ϱ_2 Dichte der Sperrflüssigkeit (in kg m^{-3})
ϱ_1 Dichte des Übergangsmediums (in kg m^{-3})
l Verschiebung des Meniskus an der Skala (in m)
α Neigungswinkel des Meßschenkels
a Querschnitt des Schrägrohres (in m^2)
A Querschnitt des Gefäßes (in m^2).

Es ist nicht empfehlenswert, den Winkel α stark zu verkleinern, da sich dadurch die Kapillarkräfte erhöhen, womit sich auch die Ungenauigkeit der Ablesung vergrößert.

Schraubenbrecher – *Maschine zur Zerkleinerung mittelharten bis weichen Gutes* (Gips, Ton, Schlacke u. a.). In einem nach unten durch einen Rost abgeschlossenen Mahlraum bewegt sich eine horizontal gelagerte Schnecke; die Windungen sind von der Mitte aus nach einer Seite rechts- und nach der anderen Seite linksgängig. Die Zerkleinerung erfolgt vor allem durch Scherbeanspruchungen; Korngröße je nach Rostspaltweite bei 6 bis 15 mm. Bei den zu den Sch. zählenden Daumenbrechern (s. Bild) greifen die Daumen bei der Drehung durch die Spalte des Austragrostes.

Schrühbrand – *s.* Glühbrand

Schrumpffolie – *eine durchsichtige Plastfolie, geeignet für die maschinelle Verpackung keramischer Erzeugnisse.* In einem Heißlufttunnel schrumpft die Folie und hält dadurch z. B. einen umhüllten Tellerstapel fest zusammen (s. Bild S. 401 oben)

Schubplattenofen – *s.* Schnellbrandofen

Schubscheibe – *s.* Töpferscheibe

Schubzeit – der Zeitabstand, in dem ein gefüllter Tunnelofenwagen in den Brennkanal eingeschoben wird.

Schuppenmullit – *s.* Aluminiumsilicate

Schürapparat – *ein periodisch arbeitendes Gerät zum vollmechanisierten Zuführen von körnigem Brennstoff (Kohle) durch die Heizlöcher (Schüttlöcher) in den Brennraum des Ringofens unter Verhinderung von Kaltluftzutritt.* Die Brennstoff-Dosierungseinrichtung wird hydraulisch, pneumatisch oder elektromagnetisch betätigt. An Brennstoffen werden Braunkohle, Braunkohlenbrikettabrieb, Steinkohlengrus in max. Korngrößen von 20 bis 30 mm verwendet.

Verwendung: beim Brennen von Ziegeln, Dachziegeln, Dränagerohren.

s. Ringofen

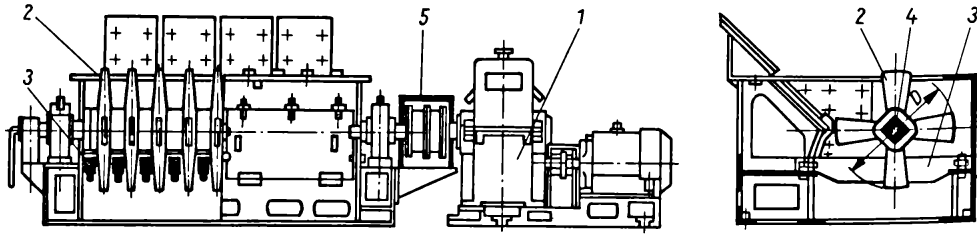
Schüttdichte – *Kennzahl für Schüttungen.* Sie ist definiert als das Verhältnis der Masse zu dem Volumen einer nach Vorschrift geschütteten Substanz, ausgedrückt in g cm^{-3} bzw. g ml^{-1}. Der Kehrwert ist das Schüttvolumen.

Zur Bestimmung wird ein Gefäß mit einem Rauminhalt von 25 cm^3 über einen Trichter (s. Bild S. 401) mit Pulver gefüllt; dessen Masse in g, mit dem Faktor 0,04 multipliziert, ergibt die Sch. Der Volumenbedarf der Pulver* hängt wesentlich davon ab, wie sie in der Schüttung angeordnet sind, d. h., ob durch etwaige gegenseitige Abstützungen und mechanische Verklammerungen größere Hohlräume verbleiben oder ob sich sogar reguläre Teilchenanordnungen ausbilden. Kugelige Körner (z. B. zerstäubungsgetrocknete keramische Massen) ordnen sich wegen der relativ guten Beweglichkeit zu dichteren Packungen an als splittriges Korn. Günstig sind Pulver mit einem breiten Teilchengrößenspektrum.

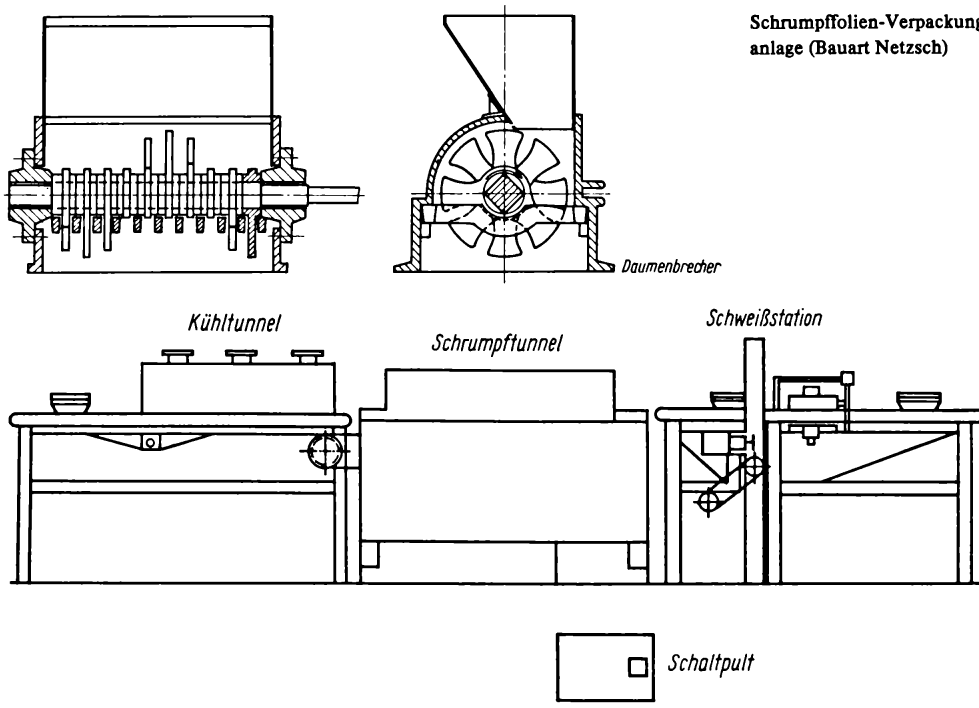
Die Kenntnis der Sch. gibt u. a. wichtige Hinweise für den Platzbedarf der Pulver in Matrizen bei automatischen Pressen, für die Eignung der Pulver zum Schlickergießen. (s. Tabelle S. 404)

[397, TGL 4464]

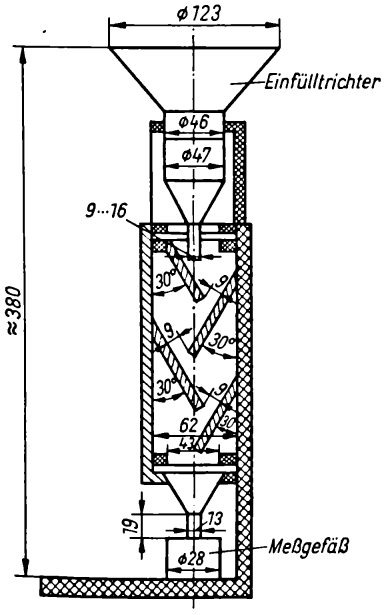
Schutzgase – *Gase, die in Sinteraggregaten eine Atmosphäre aufbauen, die unerwünschte Reaktionen*



Daumenbrecher (Zahnwalzenbrecher mit überhöhten Zähnen und Brechrost)
1 Antrieb
2 Brechelemente
3 Rost
4 Daumenbrechwalze
5 Überlastsicherung (nach *Höfft*)



Schrumpffolien-Verpackungsanlage (Bauart Netzsch)



Vorrichtung zum Prüfen des Schüttvolumens von feinen Pulvern

des Sintergutes, etwa durch Sauerstoff und/oder Wasserdampf der Luft, ausschließen (inerte Gase) oder in Einzelfällen auch bestimmte Reaktionen innerhalb des Sintergutes erst ermöglichen.

Die wichtigsten Sch. sind:

1) Edelgase

Ihre Anwendung ist wegen des hohen Preises auf Einzelfälle beschränkt.

2) Wasserstoff

Er ist ein weitverbreitetes Sch. mit reduzierender Wirkung; es sind jedoch wegen einer möglichen Knallgasbildung besondere Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, z. B. Abfackeln des H_2.

3) Ammoniak-Spaltgas

Wegen des hohen H_2-Gehaltes wirkt es jedoch reduzierend. Der in Flaschen angelieferte Ammoniak wird mit Hilfe eines Verdampfers in den gasförmigen Zustand überführt und über Druckminderer in eine Spaltanlage geführt. Der Spaltvorgang findet in elektrisch beheizten Kontaktöfen unter Verwendung von Katalysatoren bei 900 bis 1000 °C nach der Gleichung $2\,NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3\,H_2$ statt.

4) Stickstoff

Er ist ein billiges Schutz- und Spülgas. In Einzel-

Schüttgüter	Schüttdichte in t m^{-3}	Reindichte in t m^{-3}	Porosität in %	Schüttwinkel in grd	
				Bewegung	Ruhe
Braunkohle, lufttrocken	0,65 bis 0,81	0,9 bis 1,5	0,28 bis 0,48	35	50
Stückgips, Nußgröße	1,20 bis 1,40	2,2 bis 2,3	0,45 bis 0,39	39	
Hochofenschlacke	0,60 bis 1,00	2,5 bis 3,0	0,76 bis 0,67	35	50
Kalkstein, Eigröße	1,60 bis 2,00	2,3 bis 3,0	0,31 bis 0,33	30	50
Klinker, 40 mm	1,37	–	–	33	
Kreide, zerkleinert	1,4	1,8 bis 2,7	0,22 bis 0,88		39
Sand, fein, trocken	1,40 bis 1,60	2,5 bis 2,8	0,44 bis 0,41	–	32
Ton, trocken	1,80 bis 2,00	2,6	0,00 bis 0,23	–	40
Ziegelsplitt	0,80 bis 1,20				
Blähton (Keramsit)	0,40 bis 0,60				
Sinteraschen (Agglomerat)	0,5 bis 0,70				

fällen wird er auch zur Nitridierung herangezogen.

5) Vakuum

Dieses kann in vielen Fällen die Funktion eines Sch. übernehmen.

In bestimmten Fällen erfolgt durch Abdampfen eine gewisse Selbstreinigung des Sintergutes. [397]

Schutzschichten, feuerfeste – *Oberflächenschutz ff. Werkstoffe zum Abschwächen der aggressiven Wirkung von Schlacken.* Durch ihre niedrige Oberflächenspannung sollen sie gegenüber Glas- und Schlackenflüssen (mit hoher Oberflächenspannung) abweisend wirken. Die ff. Sch. werden im kalten Zustand auf die Angriffsflächen von Auskleidungen u. ä. aufgetragen. Vanadium-Aluminium-Verbindungen (einheitliches kristallines Material) setzen Schlacken größten Widerstand entgegen. Bei Kesselfeuerungen, besonders solchen mit Kohlenstaub, bewähren sich Chromitschichten (bis 92% Chromiterz, bis zu 10% ff. Ton). Bei Stahlgießpfannen bestehen die Sch. aus 80% gemahlener Schamotte, 20% Ton oder 40% gemahlener Schamotte, 40% gemahlenen Silicasteinen, 20% ff. Ton, denen vor dem Auftrag 2 bis 5% Wasserglas zugesetzt wird.

Schutzschichten, oxidische – *im schmelzflüssigen Zustand auf metallische Unterlagen aufgebrachte Schichten,* die aus einem einzigen Oxid oder auch mehreren Oxiden zusammengesetzt

sein können, zum Zwecke der Elektroisolation und/oder Wärmedämmung.
O. Sch. werden entweder durch Plasmabeschichtung* oder Sputtern* aufgetragen. Im allgemeinen besitzen sie eine relativ hohe offene Porosität, was der Wärmeisolation förderlich ist und auch stärkere Verbiegungen erlaubt. Zum Schutze gegen Korrosion sind solche Schichten nur bedingt geeignet.
Als Einzeloxide werden aufgebracht: BeO, MgO, Al_2O_3, diese weisen auch bei hohen Temperaturen einen hohen elektrischen Widerstand auf, und SiO_2, ZrO_2 und HfO_2, diese wiederum weisen die geringste Wärmeleitfähigkeit auf.
Als zusammengesetzte Oxide werden aufgetragen: Mullit*, Forsterit*, Zirkon*, Spinelle*. [91]

Schwachbrand – zu niedrig gebrannte Ware, die nicht die gewünschte Festigkeit, Brennfarbe und Porosität und ggf. auch keinen hellen Klang aufweist.

Schwamm – *Hilfsmittel zum Verputzen und Aufbringen von Dekorationen auf keramische Formlinge.* Zum Schwämmeln u. a. werden die feinen becherförmigen *Levantiner-* und die festeren, flacheren *Zimocca-Schwämme* verwendet, während die grobmaschigen ungebleichten Pferdeschwämme in Formengießereien benutzt werden. An Verputzmaschinen werden Kunststoffschwämme verwendet. Der *Viskoseschwamm* ist durch Einwirkung von Natronlauge und Schwefelkohlenstoff auf Cellulose entstanden. Er hat ein ungleichmäßiges Saugvermögen.

Schwanenservice – das prunkvollste und größte Service, das im 18. Jh. in der Meissener Manufaktur hergestellt wurde. Es besteht aus mehr als 2 000 Einzelteilen. *Kaendler* und *Eberlein* arbeiteten gemeinsam an den Formen der Gefäße und an dem plastischen Schmuck. Das Relief auf den Oberflächen gleicht weißen Muscheln. Dazu kommen Schwäne, Schilf und Kraniche. Figuren aus der Mythologie des Meeres bilden Griffe und Dekkelbekrönungen. Den Deckel der größten Terrine schmückt Galathea im Muschelwagen.

Schwarzerde (Mangantone) – *Tone mit Beimengungen von MnO_2, auch Manganerze mit Zusatz von Ton.* Verwendung zur Schwarzfärbung von Glasuren und Engoben sowie zur Verbesserung der Farbe kalkhaltiger Lehmglasuren.

Schwefelbalsam – *schwefelhaltiges etherisches Öl.* Durch Vereinigung mit einer Goldchloridlösung bildet sich Goldresinat, ein harzsaures Goldsalz, das löslich bzw. in kolloidaler Verteilung lange Zeit beständig ist.

Schwefelzement – *s.* Schmelzzement

Schweißflecke – *Fehler bei der Edelmetalldekoration.* Durch Anfassen der zu dekorierenden Stücke mit feuchten Händen ist die Bindung des Edelmetalls an diesen Stellen nicht mehr gegeben, d. h., beim oder kurz nach dem Dekorbrand rollt das Edelmetall ab. Die gleichen Ursachen können auch die Glasur von geglühter Ware zum Abrollen bringen.

Schwerspat (Baryt, $BaSO_4$)
Kristallographie: orthorhombisch
Physikalische Eigenschaften: weiß; $D = 4{,}5\ g\,cm^{-3}$; $H = 3$ bis 3,5; *o. D.* $= n_\alpha = 1{,}634$, $n_\beta = 1{,}636$, $n_\gamma = 1{,}647$, $\Delta n = +0{,}013$; $2V = 37°$
Verwendung: Ausgangsstoff für synthetisches Bariumcarbonat
Reinster Sch. dient gelegentlich als Bezugsweiß bei der Weißgradmessung keramischer Scherben.

Schwindung – *Volumenverminderung eines keramischen Rohlings beim Trocknen und Sintern.* Man unterscheidet:
1) Trockenschwindung (physikalische Sch.) ist bedingt durch den Austritt des Hüllenwassers und teilweisen Austritt des Porenwassers aus dem Rohling. Wird die Trocknung zu stark forciert und treten unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte im Rohling auf, so entstehen Schwindungsspannungen, die eine Reihe von Fehlern, z. B. Schwindungsrisse, auslösen können. Mit Abschluß der Trokkenschwindung ist der Rohling spröde, eine weitere Formgebung ist dann nur durch Weißbearbeitung möglich.
2) Brennschwindung (gelegentlich auch als chemische Sch. bezeichnet) gilt als äußeres Merkmal einer erfolgten Sinterung. Sie hängt vom Brennregime sowie von der chemischen und mineralischen Zusammensetzung der Masse ab.
Bei der rechnerischen Darstellung wird die Schwindung S als die Verkleinerung Δl einer Längenabmessung l auf den Ausgangszustand bezogen. Es gelten:
- lineare Trockenschwindung:
  $S_T = (l_{naß} - l_{trocken})/l_{naß}\ 100$ (in %)
- lineare Brennschwindung:
  $S_B = (l_{trocken} - l_{gebrannt})/l_{trocken}\ 100$ (in %)
- lineare Gesamtschwindung:
  $S_G = (l_{naß} - l_{gebrannt})/l_{naß}\ 100$ (in %)

– Gesamtvolumenschwindung:

$S_{VG} = (l^3_{naß} - l^3_{gebrannt})/l^3_{naß} \cdot 100$ (in %).

In den Betrieben wird vielfach mit dem sog. Schwindungszuschlag gerechnet, um aus den vorgeschriebenen Abmessungen des zu erzeugenden Stückes die Maße des rohen feuchten Formlings oder der zur Formgebung benutzten Hilfsmittel (Formen, Matrizen) zu ermitteln. Es gelten dann:

– lineare Gesamtzugabe:

$Z_G = (l_{naß} - l_{gebrannt})/l_{gebrannt}$ 100 (in %)

– Gesamtvolumenzugabe:

$Z_{GV} = (l^3_{naß} - l^3_{gebrannt})/l^3_{gebrannt}$ 100 (in %)

Je nach den gegebenen Bedingungen wird freie oder behinderte Sch. beobachtet.

Von Schwindungsanisotropie spricht man, wenn an einem keramischen Stück in verschiedenen Richtungen verschiedene Schwindungswerte registriert werden. Sie kann ihre Ursache im Formgebungsverfahren haben, so ist z. B. bei stranggepreßten Formlingen auf Grund des Ausrichtens der plättchenförmigen Tonmineralien die Sch. längs des Stranges kleiner als senkrecht dazu; einen Einfluß haben auch die Kationenbelegung sowie das Anisotropieverhalten der durch den Sinterprozeß gebildeten Kristallite selbst u. a.

Bei der phänomenologischen Beschreibung der Sch. spricht *Geguzin* von einer Schwindungskinetik, d. h., die Sch. läßt sich durch Gesetze formulieren. So gilt beim isothermen Sintern (stufenweises Erwärmen) keramischer Pulver auf jeder Temperaturstufe T für die lineare Sch. die allgemein gültige Beziehung:

$$\Delta l/l_0 = m(T) + n(T)\, t^{1/2}$$

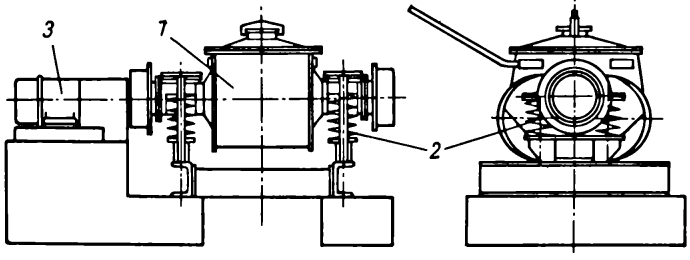
t Zeit.

m und n sind für eine gegebene Sorte von Rohlingen Funktionen der Temperatur: m nimmt gleichmäßig mit der Temperatur zu, während n ein Maximum aufweist, das infolge des Ausheilens von Gitterverzerrungen beim Sintern schon auf niederer Temperaturstufe auftritt.

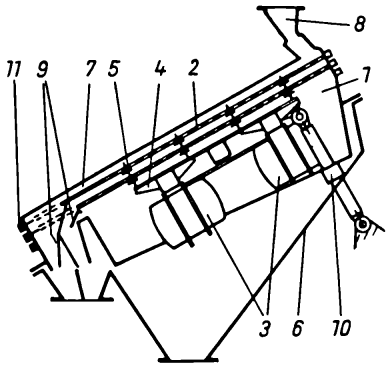
[504]

Schwingmühlen – *Maschinen zur satzweisen (periodischen) oder kontinuierlichen Feinzerkleinerung harter bis mittelharter Stoffe (keramische Rohstoffe und auch Zwischenprodukte) im Trocken- und Naßverfahren.* Das Mahlgut befindet sich mit Mahlkörpern (Porzellan-, Stahlkugeln, Stahlstäbe) vermischt in trogähnlichen Behältern, die auf Federn als Freischwinger gelagert sind. Durch eine drehende Unwuchtwelle oder durch andere Erreger werden die Behälter zu Kreisschwingungen angeregt, dabei führen die Mahlkörper Wurfbewegungen aus und zerkleinern das Mahlgut durch Schlag und Reibung. Für die satzweise Mahlung werden Trogschwingmühlen (s. Bild) mit 60 bis 250 l Mahlraum gebaut, die aus einem Mahltrog, der auf Blattfedern gelagert ist, bestehen. Durch verstellbare Unwuchten können die Kreisschwingungen mit Frequenzen zwischen 1000 bis 1500 min^{-1} bei Amplituden von wenigen mm variiert werden. Bei Kugelgrößen von etwa 10 mm Durchmesser kann Aufgabegut von ≈0,5 mm in kurzer Zeit auf Größen <10 µm zerkleinert werden. Für die kontinuierliche Mahlung werden vor allem Rohrschwingmühlen verwendet, deren Mahlräume aus zwei oder vier über- oder nebeneinander und horizontal angeordneten Stahlrohren bestehen. Zuführung und Austritt des Mahlgutes erfolgen durch Stahlroste oder Lochbleche an den Rohrenden. Die Durchsätze bewegen sich etwa zwischen 1 bis 15 t h^{-1}. Beide Mühlenarten arbeiten mit Mahlkörperfüllungsgraden von 60 bis 90 %.

Schwingsiebe – *Siebmaschinen, bei denen der aufgespannte Siebboden elektromagnetisch oder mechanisch über einen Stößel angeregt und senkrecht zur Siebebene in Pendelbewegungen versetzt wird. Stößelschwingsiebe* erzielen besonders im Feinkornbereich hohe spezifische Durchsätze als Folge eines fließbettartigen Auflockerungszustandes und eines guten Selbstreinigungseffektes. (s. Bild S. 405 oben)



Trogschwingmühle für satzweises Mahlen (50 l), Bauart VEB Kefama
1 Mahltrog
2 Feder
3 Antrieb



Stößel-Schwingsiebmaschine (CAS, Staßfurt)

1 Siebrahmen
2 Trennfläche
3 elektromagnetische Schwingantriebe
4 Traverse mit Stößelträger
5 Stößel
6 Grundgestell mit Auffangschurre
7 Verkleidung
8 Aufgabegutschurre
9 Überlaufschurren
10 Spindel zur Neigungsverstellung
11 Spannvorrichtung für Siebgewebe

Sedimentation (lat.: sedere = setzen) – *Absetzen fester Bestandteile in einem flüssigen oder gasförmigen Medium auf Grund der höheren Dichte des Feststoffes unter Einwirkung von Schwer- und/oder Fliehkraft.* In einem dispersen System bildet sich bei Erschütterungsfreiheit und konstanter Temperatur bald eine Grenzfläche aus; oberhalb dieser ist nur das Dispersionsmedium, unterhalb die disperse Phase und das Dispersionsmedium. Im Laufe der Zeit geht die Grenze in eine diffuse Zone über, d.h., es bildet sich ein Sedimentationsgleichgewicht heraus, das u. a. durch konstante Dichte in jeder Horizontalebene charakterisiert ist. Allgemein gilt, daß die Sedimentationsgeschwindigkeit dem Teilchendurchmesser direkt und der Viskosität des Dispersionsmittels umgekehrt proportional ist. Die Grenze der feststellbaren S. liegt bei einer Korngröße von etwa 0,1 µm.

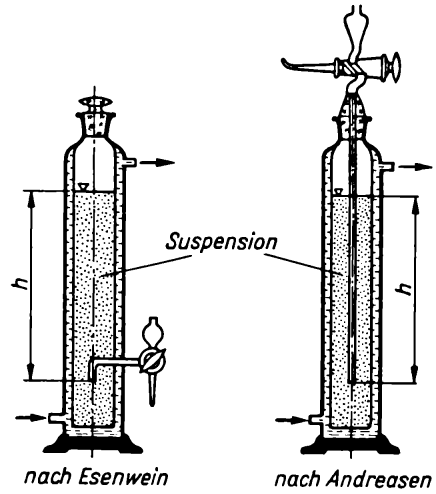
Sedimentationsanalyse – *ein von Andreasen begründetes Verfahren zur Bestimmung der Teilchengröße von Pulvern im Körnungsbereich < 63 µm.* Das Probenmaterial (etwa 10 g) wird in Aqua dest. (oder Glyzerin, Isobutanol u. a.) mit einem Peptisationsmittel (z. B. $Na_4P_2O_5 \cdot 10\,H_2O$) dispergiert und in einen Sedimentationszylinder gegeben, aus dem nach Einrichten sofort die Nullprobe (Durchschnittsprobe) abgelassen bzw. gezogen wird. Der zeitliche Abstand der weiteren Entnahmen wird mit Hilfe des *Stokes*schen Gesetzes bei definiertem Fallweg für gewählte Korngrößen berechnet. Aus den Konzentrationsänderungen im Entnahmebereich lassen sich schließlich die Anteile der gewählten Kornklasse bestimmen. Die Korndurchmesser müssen als Äquivalentwerte angesehen werden, da sich keramische Rohstoffe und Massen vorzugsweise aus splittrigem oder plättchenförmigem Korn aufbauen, das sich beim freien Fall in Flüssigkeiten anders verhält als gleich schwere Kugeln gleichen Volumens.

Für die Fallzeit t gilt:

$$t = \frac{9h}{2g}\left(\frac{2}{d}\right)^2 \frac{\eta}{\varrho_S - \varrho_L}$$

t Fallzeit (in s)
h Fallhöhe (in cm)
g Beschleunigung des freien Falles in (cm s^{-2})
d Nennkorndurchmesser (in cm)
η Viskosität des Dispersionsmittels (in mPa s)
ϱ_L Dichte des Dispersionsmittels (in g cm^{-3})
ϱ_S Dichte der trockenen Probe (in g cm^{-3}).

In einem Gefäß nach *Andreasen* und einer Reihe weiterer modifizierter Verfahren (s. Bild) läßt sich



Sedimentationspipetten nach *Andreasen* (rechts) und *Andreasen-Esenwein* (links)

die zeitliche Konzentrationsänderung bestimmen. Zur Analyse werden in bestimmten Zeitabständen Volumina von 10 cm^3 entnommen; der Feststoffgehalt wird nach Verdunsten der Flüssigkeit durch

Wägen festgestellt. Zu beachten ist, daß sich mit der Probennahme jeweils die Fallhöhe *h* ändert.
Die S. nach *Andreasen* ist ein Relativverfahren und sehr zeitaufwendig, so daß sie heute weitgehend durch die Sedimentationswaage* ersetzt wird, bzw. es werden abbildende Verfahren (Licht- und Elektronenmikroskopie*) oder unmittelbare Zählverfahren* herangezogen.
s. BET

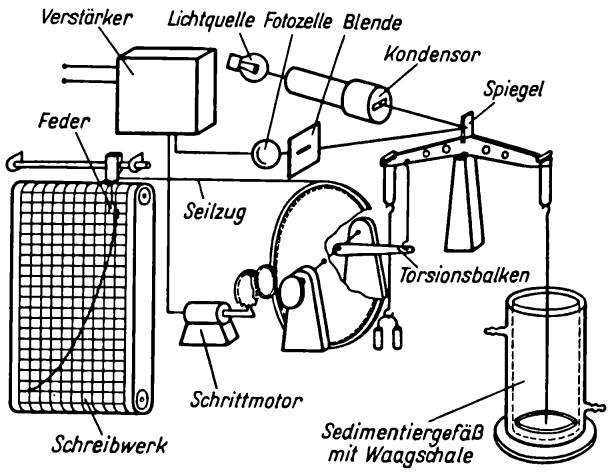
Sedimentationswaage – *ein automatisch kompensierendes und registrierendes Gerät zur Bestimmung der Korngrößen* (s. Bild). Die Gewichtszunahme des auf einer Waagschale sich absetzenden Sediments wird in Abhängigkeit von der Zeit festgestellt. Es entsteht eine Kornverteilungskurve. Eventuell können auch Klär-, Flockungs-, Kristallwachstums- und Hygroskopizitätsuntersuchungen durchgeführt oder Trocknungskurven aufgenommen werden.

Sedimente – *allgemein lockere Ablagerungen* (dagegen bezeichnen Sedimentgesteine bereits wieder verfestigte Ablagerungen). Man unterscheidet:
1) biogene S.
Die Bestandteile sind durch den Kreislauf von Tieren gegangen, z.B. Korallen-Bryozoen-Riffe.
2) chemische oder minerogene S.
Die bei der Verwitterung abtransportierten Elemente werden durch Zuführung anderer Stoffe oder durch Verdunsten des Wassers ausgefällt (Beispiele: Opal, Travertin, Rogenstein u. a.).
3) klastische oder mechanische S.
Die bei der Verwitterung anfallenden Gesteinstrümmer können durch Wasser (fluviatil), durch Eis (glazial) oder durch Wind (äolisch) abtransportiert und an anderer Stelle, wenn die Turbulenz des Transportmediums gering wird, abgelagert werden, z. B. Löß, Kies, Sand u. a.

***Seger*, Hermann August** – *Chemiker*, 1839 bis 1893. Nach Besuch von Real- und Gewerbeschule absolvierte er ein Chemiestudium in Berlin-Charlottenburg. 1868 promovierte S. an der Universität Rostock zum Dr. phil. 1885 wurde er Professor. Nach Studien auf keramischem Gebiet in Fabriken Deutschlands, Belgiens, Englands und Ungarns übernahm er 1872 das Türrschmidtsche Laboratorium in Berlin. 1878 wurde er als Leiter der »Chemisch-technischen Versuchsanstalt« an die Königliche Porzellanmanufaktur berufen, wo er bis 1890 tätig war. Er erfand das Segerporzellan, die Segerkegel und zahlreiche Prüfgeräte und arbeitete an Kupferrotglasuren und durchsichtigen Reliefemails. Er veröffentlichte etwa 170 Arbeiten über die verschiedensten Vorgänge innerhalb keramischer Massen.

Segerformel – *ein von Seger vorgeschlagenes dreispaltiges Molekular-Formelschema für Glasuren.* Dabei werden die eine Glasur aufbauenden Oxide unterteilt in die Gruppen:
- basische Oxide R_2O bzw. RO, wie Li_2O, Na_2O, K_2O, MgO, CaO, BaO, ZnO, PbO, FeO, CoO, NiO u. a.,
- amphotere Oxide R_2O_3, wie Al_2O_3, Cr_2O_3 u. a.,
- saure Oxide RO_2, wie SiO_2, SnO_2, B_2O_3 u. a.

Bei der Aufstellung der S. müssen die Masse-%

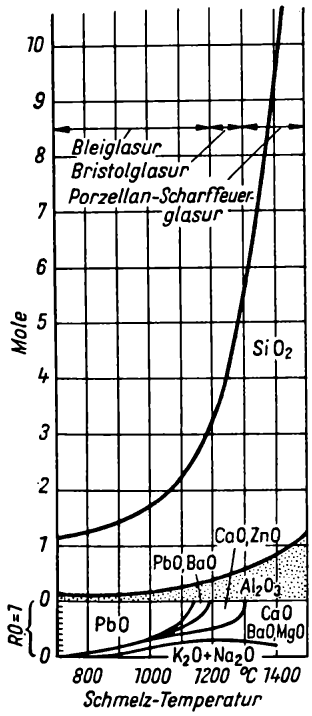


Schema der Sedimentationswaage

der chemischen Analyse in Mol-Anteile umgerechnet werden, wobei der Molenfaktor so gewählt wird, daß die Summe der basischen Oxide gleich 1 ist. Als Beispiele (nach *Scholze*) seien die S. von zwei Glasuren angeführt:

- für eine Glattbrandtemperatur von 1 200 °C (für Steinzeug)
  0,3 K_2O
  0,1 MgO · 0,4 Al_2O_3 · 3,5 SiO_2
  0,5 CaO
  0,1 ZnO,
- für eine Glattbrandtemperatur von 1 430 °C (für Hartporzellan)
  0,2 K_2O
  0,2 MgO · 1,1 Al_2O_3 · 10,0 SiO_2
  0,6 CaO.

Die S. reduziert die Glasuren auf ein Dreistoffsystem, erleichtert damit die Versatzberechnung und Berechnung des Säure-Basen-Verhältnisses. Weiterhin gestattet sie, Glasuren untereinander zu vergleichen, und gibt Auskunft über das Schmelzverhalten (s. Bild). Die S. ist jedoch kein Ausdruck für eine chemische Verbindung.



*Seger*formeln von Glasuren in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur (nach *Norton*)

_Seger_formel, Berechnung aus der chemischen Analyse – Für jedes Oxid ist die Molzahl zu berechnen, die angibt, wieviel Mol in 1 g der Glasur enthalten sind:

$$n = m/M$$

n Molzahl (in mol g^{-1})
m Masse-% des Oxides aus der chemischen Analyse
M molare Masse (in g mol^{-1}; meist gerundet).

Die Molzahlen der Oxide sind den zugehörigen Gruppen zuzuordnen. Die Molzahlen aller Oxide sind durch die Summe der Molzahlen der basischen Oxide zu dividieren und in die entsprechenden Gruppen, auf zwei Dezimalstellen gerundet, einzutragen.

Berechnungsbeispiel:

1) Die chemische Analyse einer Steingutglasur lautet:

SiO_2 = 54,00 %
Al_2O_3 = 11,28 %
Fe_2O_3 = 0,92 %
PbO = 16,39 %
CaO = 5,50 %
K_2O = 2,93 %
Na_2O = 2,17 %
B_2O_3 = 6,71 %
99,90 %

2) Die Molzahl n der Oxide ist wie folgt zu berechnen:

für SiO_2 = 54,00 : 60 = 0,900 0 mol
für Al_2O_3 = 11,28 : 102 = 0,110 6 mol
für Fe_2O_3 = 0,92 : 160 = 0,005 8 mol
für PbO = 16,39 : 223 = 0,073 4 mol
für CaO = 5,50 : 56 = 0,098 2 mol
für K_2O = 2,93 : 94 = 0,031 2 mol
für Na_2O = 2,17 : 62 = 0,035 0 mol
für B_2O_3 = 6,71 : 70 = 0,095 0 mol

3) Danach sind die Molzahlen in die zugehörigen Gruppen einzuordnen, und es ist die Summe der basischen Oxide zu bilden:

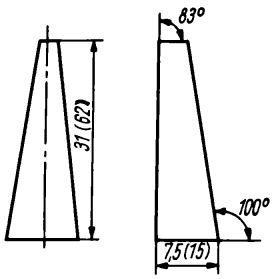
0,073 4 PbO		
0,098 2 CaO		
0,031 2 K_2O	0,110 6 Al_2O_3	0,900 0 SiO_2
0,035 0 Na_2O		0,095 9 B_2O_3
0,011 6 FeO		
0,249 4		

4) Die Molzahlen der einzelnen Oxide sind durch die Summe der Molzahlen der basischen Oxide,

also durch 0,2494, zu dividieren. Man erhält damit die *Seger*formel der Steingutglasur:

0,29 PbO		
0,39 CaO		
0,13 K_2O	0,44 Al_2O_3	3,60 SiO_2
0,14 Na_2O		0,38 B_2O_3
0,05 FeO		
1,00		

Segerkegel (SK) – *von Seger geschaffene etwa 6 cm hohe (bzw. als Laborkegel 3 cm hohe) abgestumpfte, leicht schräg stehende Dreikantpyramiden, die im keramischen Brand bei bestimmten Temperaturen erweichen.* Die Temperaturhöhe, bei der die



Abmessungen der kleinen und der großen *Seger*kegel in mm (die Werte der großen *Seger*kegel stehen in der Klammer)

Spitze des Kegels gerade die Ebene des Fußes des Kegels erreicht hat, gilt als sog. Falltemperatur. S. für höhere Temperaturen sind numeriert und ähnlich wie keramische Massen aufgebaut, d. h. aus Mischungen von Feldspat, Quarz, Kaolin, Kalkspat, Magnesit, Tonerde u. a.; jede Nummer entspricht einem bestimmten Erweichungsverhalten. Sie werden in folgende Gruppen unterteilt:

SK 022 bis 016	(600 bis 750 °C)
SK 015a bis 01a	(750 bis 1 080 °C)
SK 1a bis 6a	(1 100 bis 1 200 °C)
SK 7 bis 42	(1 230 bis 2 000 °C).

Die Falltemperaturen zweier aufeinanderfolgender Kegel unterscheiden sich um etwa 20 bis 30 K. In den angelsächsischen Ländern ist der Orton-Kegel, in der UdSSR der GOST-Kegel und in der DDR der Pyrometerkegel üblich. Sie sind ähnlich dem S. aufgebaut, bei den beiden letzten Gruppen wurde die Numerierung so vorgenommen, daß die Kegelnummer mit 10 multipliziert die Falltemperatur bei definierter Aufheizgeschwindigkeit angibt. Ähnliches gilt auch für die seit 1973 eingeführten ISO-Bezeichnungen.

Obwohl der S. einige Fehlermöglichkeiten aufweist (so wird z.B. die Falltemperatur von der Aufheizgeschwindigkeit und der Brennatmosphäre beeinflußt), hat er sich doch in der keramischen Praxis in vieler Hinsicht bewährt. Er macht dieselben physikalisch-chemischen Prozesse wie das Brenngut durch und liefert eine Aussage sowohl über die Maximaltemperatur als auch über die Verweilzeit, d. h., er charakterisiert den Brennzustand des Erzeugnisses.

Segerporzellan – *ein etwa um 1880 von Seger entwickeltes Weichporzellan (Brenntemperatur 1 240 bis 1 280 °C) mit der Zusammensetzung: 30 Masse-% Feldspat, 45 Masse-% Quarz, 25 Masse-% Tonsubstanz.* Die Tonsubstanzkomponente wird vorwiegend durch weißbrennende Steinguttone und nur zum geringen Teil durch Kaolin abgedeckt. Die Brennfarbe ist bei reduzierendem Brand weiß, bei oxydierendem Brand gelblich-elfenbeinartig. S. zeichnet sich durch hohe Transparenz und vielseitige Dekorationsfähigkeit aus. Wegen seines hohen Quarzgehaltes weist es eine schlechte TWB auf und ist stoßempfindlich. Für die Zusammensetzung der Glasur wird die Segerformel

$$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}\cdot 0{,}5\ Al_2O_3\cdot 4\ SiO_2$$

angegeben.

Seignetteelektrizität – *s.* Ferroelektrizität

Sekundärkorn (lat.: secundus = der zweite)

1) Ein durch Calcination* von feindispersen Pulvern entstandenes Kristallaggregat, wie es z. B. durch Calcination von ausgefälltem $Al(OH)_3$ über verschiedene Stufen zum α-Al_2O_3 entsteht, im Gegensatz zum Monokristall, dem sog. Primärkorn*.

2) In der Keramik Bezeichnung für Granulat bzw. vorgesintertes Pulver, das im Gegensatz zu dem in eine keramische Masse eingeführten Korn definierter Größe, dem Primärkorn, gesehen werden muß.

Sekundärmullit – *s.* Aluminiumsilicate

Seladonglasur – *eine wahrscheinlich als Nachahmung von Jade o. ä. zuerst in China während der Sung-Dynastie (960–1279) hergestellte undurchsichtige, blaß- bis oliv- oder blaugrüne basische Steinzeugglasur.* Nach der chemischen Analyse enthalten S.

im Mittel 67 % SiO_2, 14 % Al_2O_3, 1,5 % Fe_2O_3, 10 % CaO, 1,1 % MgO, 4,6 % K_2O, 1,8 % Na_2O. Die Nachahmungen heute werden im oxydierenden Brand durch Zugabe von Cr_2O_3 oder CuO erzeugt (auch Zusätze von NiO, SnO_2 und Holzasche). Man kann auch den Glühscherben mit grünfärbenden Metallsalzlösungen tränken und mit farbloser Glasur überziehen.

Seladonit (Grünerde) – *ein dunkel- bis bläulichgrünes Alumosilicat;* monokolin; $D = 2{,}8$ bis $2{,}9\ g\ cm^{-3}$. S. gehört seiner Struktur nach zu den Glimmern. Er fühlt sich fettig an und bildet harte bis feinschuppige Massen.

Seladonporzellan – Bezeichnung für durch kleine Mengen Cr_2O_3 grüngefärbtes Porzellan.

Selbstdiffusion – *s.* Diffusion

Selbstglasur – *während des Brandes auf der Oberfläche des Scherbens bei einigen Stoffsystemen sich bildende Verglasung in der Art einer Glasur*.* S. werden besonders im Dreistoffsystem MgO-Al_2O_3-SiO_2 im Zustandsgebiet des Cordierits* erhalten. Wegen des eng begrenzten Sinterintervalles werden diesen Massen zur Dichtsinterung Flußmittel (z. B. Feldspat) zugesetzt. Die Flußmittel bilden eine Schmelzphase, die bei höheren Temperaturen gleichsam eine S. »ausschwitzt«.
Die Dicke einer S. beträgt etwa 10 bis 20 µm. S. weisen einen ausgezeichneten Sitz auf.
Eine Glasur im herkömmlichen Sinne kann wegen des kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Cordierits auf dem üblichen Wege nicht erzeugt werden. [136]

Seltenerden – *Oxide der Seltenerdenmetalle*.* Sie sind kristalline, meist farbige Substanzen mit ausgeprägtem basischem Charakter. In der Keramik werden S. nur in geringem Umfang als Rohstoffe, meist zu Dotierungen*, herangezogen.

Seltenerdenmetalle – *zusammenfassende Bezeichnung für die in der III. Nebengruppe des Periodensystems stehenden Elemente* Scandium Sc (Ordnungszahl 21), Yttrium Y (Ordnungszahl 39) und Lanthan La (Ordnungszahl 57) und die auf das Lanthan folgenden Lanthanide mit den Ordnungszahlen 58 bis 71: Cer Ce, Praseodym Pr, Neodym Nd, Promethium Pm, Samarium Sm, Europium Eu, Gadolinium Gd, Terbium Tb, Dysprosium Dy, Holmium Ho, Erbium Er, Thulium Tm, Ytterbium Yb und Lutetium Lu.
Die S. weisen eine Dichte von 5 bis $10\ g\ cm^{-3}$ auf und sind in ihren Verbindungen überwiegend dreiwertig; daneben sind Pr, Sm, Eu und Yb zweiwertig und Ce, Pr und Tb vierwertig.

Semi-Silica-Erzeugnisse (lat.: semi = halb) – zusammenfassende Bezeichnung für Erzeugnisse aus saurer Schamotte* und Tondinas*.

Sensor (Meßfühler; lat.: sensus = Gefühl) – *Meßwertaufnehmer, der eine nichtelektrische Größe aufnimmt und in eine elektrische umwandelt.*
S. haben die Aufgabe, den Istzustand einer bestimmten physikalischen Größe aus einem Prozeß zu erfassen und in Form eines elektrischen Signals weiterzumelden. Das elektrische Signal muß so beschaffen sein, daß es von nachfolgenden elektrischen Schaltungen weiterverarbeitet, z. B. verstärkt oder umgeformt, werden kann. [409]

Sensoren, keramische – *nach keramischer Technologie gefertigte Sensoren*.* Sie werden in den Ausführungsformen Perlen, Scheiben, Stäbe, Rohre, poröse Keramik, Zylinder und Pellets hergestellt und zeichnen sich durch hohe chemische und thermische Stabilität aus. K. S. können überall dort eingesetzt werden, wo eine Trennung von Fühlerelement und Verarbeitungselektronik nicht erforderlich ist. Man unterscheidet:
1) Temperatursensoren auf der Basis von Thermistoren* (NTC, PTC-Keramik) und sensitiven Ferriten; als Wirkprinzipien werden das Ansteigen der Ladungsträgerkonzentration mit wachsender Temperatur, der pyroelektrische Effekt und der positive Widerstandssprung bzw. Änderung der Magnetisierung bei *Curie*temperatur* genutzt. Erfaßt wird ein Temperaturbereich von −200 °C bis etwa +1 000 °C.
2) Feuchtesensoren auf der Basis von $MgCr_2O_4$-TiO_2, ZnO-Cr_2O_3-Li_2O, RuO_2, Fe_3O_4 u. a.; ihr Wirkprinzip beruht auf veränderter Oberflächenleitfähigkeit oder Kapazitätsänderung infolge Wasseradsorption. Die Feuchtemessung kann in inerten und oxydierenden Gasen vorgenommen werden. In der Regel ist jedoch nach jeder Messung ein thermisches Regenerieren (Ausheizen) erforderlich.
3) Gassensoren auf der Basis von dotierten Oxiden (SnO_2, ZnO, Fe_2O_3, TiO_2) und Festelektrolyten*. Als Wirkprinzipien werden Chemisorption reduzierender Gase, Verarmungsrandschichten, Beeinflussung der Sauerstoffehlstellenkonzentration bzw. Sauerstoffionenleitung genutzt. Die Arbeitstemperaturen bewegen sich zwischen 300 °C

und 2000 °C, der O_2-Druckbereich zwischen 10^5 und 10^{-20} Pa; Anwendung in Leckwarngeräten, Abgasmessungen, Prozeßsteuerungen von Stahl- und Kupferschmelzen.
4) Druck-, Kraft- und Beschleunigungssensoren auf der Basis von Piezokeramiken*; als Wirkprinzipien werden der piezoelektrische Effekt und Änderung der elektrischen Leitfähigkeit* durch veränderte Wärmeableitung genutzt; Anwendung zur Beschleunigungs- und Vibrationsmessung, Füllstandsmessung, Durchflußmessung, Werkstoffprüfung u. a.
[371, 480]
s. Piezoelektrizität, Pyroelektrizität

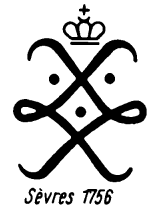
Sericit – eine Art von Muskovit* (Glimmer) von geringer Korngröße.

Serpentin (Antigorit, $3\,MgO \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$)
Kristallographie: orthorhombisch; ein Zweischichtmineral, plättchenförmige Ausbildung
Physikalische Eigenschaften: grau; $D = 2{,}62\,g\,cm^{-3}$; $H = 3$ bis 4; *o. D.*: $n_\alpha = 1{,}560$, $n_\beta = 1{,}570$, $n_\gamma = 1{,}571$, $\Delta n = -0{,}011$; $2V = 30$ bis 60°
Verwendung: Rohstoff für Forsteriterzeugnisse.

Service – *handelsübliche Zusammenstellung von Geschirr in verschiedenen Stückzahlen.* Man unterscheidet Kaffee-, Mokka-, Tee-, Speiseservice. Ein 15teiliges Kaffeeservice z. B. besteht aus 1 Kaffeekanne, 1 Zuckerdose, 1 Sahnekännchen, 6 Tassen (mit Untertassen) und 6 Kuchentellern.
s. Déjeuner

Setzdichte – *Anordnung des Brenngutes je m^3 Brennraum* ($m^3\,m^{-3}$, $kg\,m^{-3}$, Stück m^{-3}). Die S. beeinflußt wesentlich die Strömung der Heizgase und damit auch die Leistung eines Ofens. Bei zu hoher S. besteht die Gefahr des Schwachbrandes in der unteren Besatzmitte und die des Überfeuerns an den Außenpartien, während bei zu offener S. die Flammengase zu wenig ausgenutzt werden. Bei Optimierung der S. müssen die Art des Brenngutes, der Ofentyp, die Zugverhältnisse und die Temperaturverteilung berücksichtigt werden.

Sèvres – *Porzellanmanufaktur.* In St.-Cloud wurde bereits 1693 ein frittehaltiges Weichporzellan erfunden. Diese Erfindung gelangte nach Vinciennes. Von dort siedelte der Betrieb 1756 nach S. bei Paris über und wurde vom Königshaus übernommen. Es wurden kostbare Sonderanfertigungen hergestellt. Man führte u. a. Camieu-Malerei mit Motiven nach *Watteau* und *Boucher* ein, imitierte die Struktur des Marmors, die Maserung bestimmter Holzarten, die Webart von Textilien. Um 1800 wurde das Chromgrün erfunden. Die gestalterisch stärkste Epoche lag im ersten Drittel des 18. Jh. unter Einfluß der Pariser Bildhauer *Falconet* und *Boizet*. Ersterer führte für die mittleren und kleinen Figuren das Biskuitporzellan ein. S. ist die erste Manufaktur, die dem Betrieb eine Musterschau anschloß. (Fabrikmarke s. Bild)



Fabrikmarke der Porzellanmanufaktur Sèvres

Sgrafitto – *Kratztechnik, bei der aus einem auf ein (gebranntes) Tongefäß aufgebrachten weißen Tonanguß oder einer Engobe* mit entsprechenden Werkzeugen Ornamente herausgekratzt werden, so daß an diesen Stellen der ursprüngliche Scherben und dessen Farbe sichtbar werden.* Nach dem Brennen ergibt sich eine zweifarbige Dekoration. Verschiedentlich wird auch der Begriff S. auf die Silhouettenmalerei angewendet, bei der die Oberfläche des zu dekorierenden Gegenstandes so abgedeckt wird, daß nur die Motive (Ornamente) frei bleiben. Dann wird gespritzt (z. B. mit Schwarz). Nach dem Brennen bei etwa 780 °C wird das Abdeckmittel entfernt, und es bleibt nur die Silhouette.

SiAlONe – *eine Gruppe von Nitridwerkstoffen der allgemeinen Formel $Si_{6-x}Al_xO_xN_{8-x}$,* wobei $x = 0$ bis 4,2 sein kann.
S. weisen ein Si_4N_3-Gitter auf, in dem Si teilweise durch Al und N zugleich durch O ersetzt wird; Si kann auch durch andere Metalle (z. B. Mg, Be, Y) substituiert werden. Die Herstellung von S-Keramiken erfolgt durch Heißpressen von Mischungen von Si_3N_4 mit Al_2O_3 und anderen Zusätzen in Graphitformen bei Preßdrücken von 18 bis 25 MPa und Temperaturen von etwa 1750 °C bei 30 min Haltezeit. Eine andere Technologie geht von SiO_2- und Al_2O_3-Pulvern aus, die bei etwa 1400 °C in Stickstoffatmosphäre gesintert, wieder feingemahlen und erneut gesintert werden, evtl. mehrmals.
Die Eigenschaften der S. ähneln denen von Si_3N_4, sie zeigen jedoch eine größere Oxydations- und Korrosionsfestigkeit als Si_3N_4. Werkstoffe mit einem Gehalt von 50 % Al_2O_3 erreichen je nach Porosität Biegebruchfestigkeiten von 200 bis

600 MPa; bemerkenswert ist der kleine *WAK* von 3,0 bis $3{,}8 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$. Ab 1100 °C führt eine geringe Oxydationsneigung zur Bildung sehr beständiger Mullitschichten an der Oberfläche.
S. sind thermisch und mechanisch belastbar; Verwendung als Konstruktionswerkstoffe. [397]

Sieb – *Vorrichtung zum Klassieren, d. h. zum Trennen eines Haufwerks in Korngrößenbereiche.* Den aktiven Teil eines S. nennt man *arbeitende Siebfläche* oder *Siebboden*. Die Öffnungen können rund, quadratisch, lang- und spaltförmig sein. Die Form hat Einfluß auf das Trennergebnis. Als Werkstoff für Siebböden kommen Stahl, Messing und Bronze in Betracht. Als offene Siebfläche bezeichnet man das Verhältnis aller Sieböffnungen zur Gesamtfläche des Siebbodens (in %). Bei standardisierten Drahtsieben betragen die kleinsten Öffnungen (Maschenweite) 40 µm, von nicht standardisierten 15 µm (s. Tabelle).
s. Maschenweite

Siebbezeichnung (lichte Maschenweite, noch hindurchgehende Korngröße)	Maschenzahl je cm²
1,5 mm	16
1,2	25
1,0	36
0,75	64
0,6	100
0,54	121
0,5	144
0,43	196
0,4	256
0,34	324
0,3	400
0,25	576
0,2	900
0,177	1225
0,15	1600
0,12	2500
0,1	3600
0,09	4900
0,075	6400
0,066	8100
0,06	10000
0,053	12100
0,04	16900

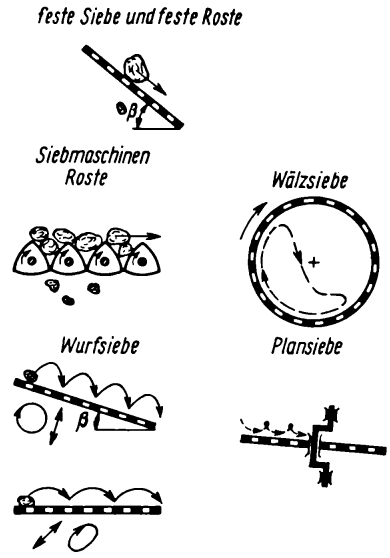
Siebanalyse – *Trennen eines Haufwerkes/Körnerkollektivs in mehr als zwei Kornklassen durch Hinter- oder Untereinanderschalten mehrerer Siebe.* Je geringer der Unterschied der Sieböffnungen zweier aufeinanderfolgender Siebe ist, um so einheitlicher ist die gewonnene Größe der Körner und um so kleiner die Menge der Kornklasse. Das einem Sieb aufgegebene Körnerkollektiv nennt man *Siebgut*. Die Produkte der Siebung – Grobgut (Siebüberlauf) und Feingut (Siebunterlauf) – werden als *gesiebtes Gut* bezeichnet. Wird die Korngröße relativ zur Trennkorngröße betrachtet, so spricht man von *Über-* und *Unterkorn*. S. werden gewöhnlich bis zur unteren Grenze von 0,1 mm als Trokkensiebung, von 0,1 bis 0,04 mm als Naßsiebung durchgeführt.

Siebdruck – *ein von Hand oder maschinell ausgeführtes Durchdruckverfahren zur Herstellung von Schiebebildern* oder zum direkten Aufbringen von Dekorationen auf Porzellan bzw. mikroelektronischer Strukturen auf Substrate.* Auf ein feines elastisches Sieb* (10000 Maschen/cm² und feiner) aus Seiden- oder Polyamidgaze, Bronzedraht (Phosphorbronze), Nylon, Dederon u. a., das fest in einen Rahmen gespannt ist, wird eine lichtempfindliche Schicht aufgetragen. Auf diese wird der Film mit dem Motiv gegeben (das Motiv ist schwarz und somit lichtundurchlässig). Unter einer Kohlenstiftlampe wird das Objekt für einige Minuten belichtet. Die nichtschwarzen Stellen des Filmes lassen das Licht ungehindert auf die für die Belichtung empfindliche Schicht treffen; diese vom Licht getroffenen Stellen der durch Chromate sensibilisierten Schicht aus Gelatine bzw. PVA erhärten, die nichtbelichteten Stellen bleiben weich und können anschließend herausgelöst (herausgespült) werden. Durch diese Stellen, die das Motiv darstellen, wird auf das unter dem starren oder klappbaren Siebrahmen befindliche Druckpapier bzw. den Gegenstand die Farbe bzw. Polier- oder Glanzgold gerakelt. In ähnlicher Weise wird über das entstandene Papierbild die sog. Maske* gedruckt. Verwendet werden meist Kaltdruckfarben (mit Öl), die zu 80 bis 85 % aus trockenem Anteil bestehen; bei Mehrdruckdekoren sind die entsprechenden Trockenzeiten zu berücksichtigen. Die Heißdruckfarben (thermoplastische) haben neben dem Farbpulver noch Wachs bzw. spezielle Harze, die erst oberhalb 60 bis 70 °C erweichen; die Schablone (Sieb) muß erwärmt werden. Beim Mehrfarbendruck ist keine Zwischentrocknung notwendig.

Siebdruckdekorationen zeichnen sich durch bessere Widerstandsfähigkeit (z. B. bei Spülmaschinen), durch die Leuchtkraft der Farben und deren stärkere, reliefartige Lage aus.
In der Mikroelektronik*-Hybridtechnik* hat das Siebdruckverfahren auf Grund seiner guten Strukturierbarkeit und der großen Auswahl an Pasten für die Realisierung der unterschiedlichsten Bauelementefunktionen (Kontakte, Leiterbahnen, hochgenaue Widerstände, Dielektrika*, Isolator- und Passivierungsschichten, Heißleiter*, Kaltleiter* u. a.) ebenfalls eine breite Anwendung gefunden. Mittels S. lassen sich Strukturen bis herunter zu 0,25 mm, unter besonderen Bedingungen sogar bis <0,05 mm, realisieren.
s. Schichten, dicke, Beschichten

Siebkugelmühle – *ein Aggregat zur Zerkleinerung von Stoffen oder Stoffgemischen, wobei Mahlung und Klassierung in einer Maschine vereint sind.* Das Aufgabegut kommt zusammen mit den Mahlkörpern (Kugeln) in einen horizontal gelagerten Behälter, in dem sich ein Siebzylinder befindet. Das genügend zermahlene Gut fällt durch das Sieb in den zwischen Siebzylinder und Behälterwand verbliebenen Raum und wird von dort bei laufendem Betrieb abgeführt. S. werden zur trockenen Vermahlung von Farbstoffen, Schamotte, Schlacken u. a. verwendet.

Siebmaschinen – *mechanisch oder elektrisch bewegte Vorrichtungen zur kontinuierlichen Trennung von Körnerkollektiven.* Man unterscheidet:
1) Roste – die Elemente des Siebbodens (Scheiben, Rollen, Roststangen u. a.) führen zueinander Relativbewegungen aus, wodurch der Siebguttransport ausgelöst wird (s. Schema).
2) Wälzsiebe – bestehen aus Siebtrommeln, in denen das Siebgut ähnliche Bewegungen ausführt wie das Mahlgut in Trommelmühlen bei Kaskadenwirkung.
3) Wurfsiebe – der Transport des Siebgutes erfolgt wurfartig, da der Siebboden in einer senkrechten Längsachse schwingt. Bei Kreisschwingern und Schwingsieben muß zur Gewährleistung eines genügenden Gütertransportes der Siebboden ausreichend geneigt sein. Wurfsiebe sind am weitesten verbreitet.
4) Plansiebe – schwingen in der Siebebene, wobei sich das Siebgut auf zykloidartigen Bahnen über den Siebboden bewegt.
Roste werden für den Grobkornbereich



Einteilung der Siebmaschinen nach der Siebgutbewegung

($d > 50$ mm), Wälz-, Wurf- und Plansiebe für den Mittel- bis Feinkornbereich ($d = 0{,}03$ bis 50 mm) eingesetzt.
s. Stromklassierer

Silicaleichtsteine – *s.* Feuerleichtsteine

Silicasteine – *auf der Basis von Quarzgestein hergestellte feuerfeste Steine mit einem Mindestgehalt von 93 Masse-% SiO_2,* die bis etwa 1 700 °C ($t_{0,6}$-Werte = 1 660 bis 1 700 °C) anwendungsfähig, jedoch unter 600 °C sehr anfällig gegen Temperaturwechsel sind. Als Rohstoffe dienen gut umwandelnde Zement- und Felsquarzite, außerdem werden zur Bindung Kalkmilch (etwa 2 Masse-% CaO), Ethylsilicat, Sulfitablauge (als Klebstoff) u. a. zugesetzt. Da das Gefüge und die daraus resultierenden Eigenschaften, wie *TWB*, Porosität, Gasdurchlässigkeit, stark von der Packungsdichte abhängen und andererseits die Massen beim Brand wachsen, kommt dem Körnungsaufbau besondere Bedeutung zu; als günstig hat sich erwiesen: 10 bis 25 Masse-% Grobkorn von 3 bis 5 mm, 15 bis 27 Masse-% Mittelkorn von 1 bis 3 mm und 55 bis 65 Masse-% Feinkorn <1 mm. Höhere Feinkornanteile erbringen zwar höhere Kaltdruckfestigkeit und höheren Umwandlungsgrad, können aber trotz sorgfältiger Entlüftung beim Pressen zu Schieferungen (Lagerisse) führen. Der Brand erfolgt bei etwa 1 450 °C und dauert bis zu

14 Tagen. Nach dem Brand liegen die Phasen Cristobalit, Tridymit, Restquarz und bei Anwesenheit von Flußmitteln wenige Prozente Glasphase vor. Aussagen über die Phasenverhältnisse können durch Dichtebestimmungen erhalten werden (Quarz = 2,65 g cm^{-3}; Cristobalit = 2,32 g cm^{-3}; Tridymit = 2,27 g cm^{-3}). Für den Einsatz ist das Ausmaß des Nachwachsens entscheidend, das wesentlich vom Quarzanteil abhängt.

S. haben eine *KDF* = 15 bis 60 MPa, *P* = 21 bis 26% und eine Gasdurchlässigkeit* von 0,5 bis 5 pm^2. Als schwarze S. bezeichnet man Steine mit relativ hohen Fe_2O_3-Gehalten (etwa bis 3 Masse-%), die einen höheren Anteil an Tridymit und *KDF* bis 70 MPa aufweisen. Da die Fe_2O_3-Gehalte die Schmelztemperatur nicht wesentlich herabsetzen, ist auch die *DFB* nicht vermindert.

Nach ihrer Verwendung werden S. eingeteilt in
- Stahlwerksqualitäten für höchste Temperaturbeanspruchung,
- Glasschmelzofenqualitäten mit etwas verminderter *DFB*,
- Koksofenqualitäten mit sehr guter Maßhaltigkeit und Volumenbeständigkeit sowie geringerer *DFB*,
- Heißreparatursteine.

Bei gemeinsamer Vermauerung von basischen und Silicamaterialien ist an den Kontaktstellen eine Zwischenschicht von 90%igem Al_2O_3-Material zu legen, um Zerstörungen zu vermeiden.

Silicate (lat.: silex = Kieselstein) – *Metallsalze von (z. T. hypothetischen) Kieselsäuren.* Formal können S. in Punktschreibweise als Verbindungen des Siliciumdioxides (SiO_2) mit basischen Oxiden dargestellt werden (z. B. Calciumsilicat $CaO \cdot SiO_2 = CaSiO_3$). Strukturell gesehen bauen sich die S. aus Silicium-Sauerstoff-Tetraedern auf, die über die Sauerstoffatome (sog. Brückensauerstoff) miteinander verknüpft sind und mehr oder weniger geordnet sein können. Man unterscheidet:
- grobdisperse S. als wichtigste gesteinsbildende Minerale,
- feindisperse S. als kleinste Kornfraktionen der Tonminerale,
- amorphe S., selten in der Natur, als Kolloide bei Fällungen,
- molekulardisperse S. in alkalischen Silicatlösungen.

Nach *Machatschki* und *Strunz* werden S. entsprechend ihrer Struktur untergliedert in:

1) Insel- oder Nesosilicate
- Gruppe $[SiO_4]^{4-}$ – Inselsilicat im eigentlichen Sinne (s. Bild *a*); Beispiel: Olivin $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$,
- Gruppe $[Si_2O_7]^{6-}$ – Doppeltetraeder (s. Bild *b*); Beispiel: Thortveitit $Sc_2[Si_2O_7]$,
- Gruppe $[Si_3O_9]^{6-}$ – Ringsilicate (s. Bild *c*); Beispiel: Benitoit $BaTi[Si_3O_9]$,
- außerdem sind noch Viererringe (Bild *d*) und Sechserringe (Bild *e*) bekannt.

2) Ketten- oder Inosilicate

Die $[SiO_4]$-Gruppen sind zu unendlichen Ketten verbunden; ihre Vertreter haben säuligen, nadeligen oder faserigen Habitus.
- Gruppe $[Si_2O_6]^{4-}$ – Beispiel: Pyroxen (Bild *f*),
- Gruppe $[Si_4O_{11}]^{6-}$ – sog. Bandstruktur; Beispiel: Amphibol (Bild *g*).

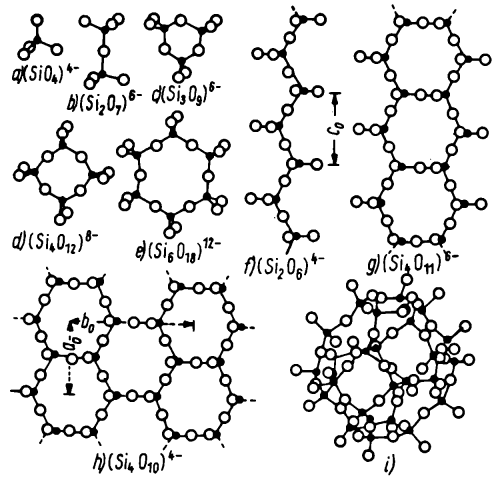
3) Netzsilicate (Phyllosilicate)

Diese entstehen durch Verknüpfen von Doppelketten; Beispiele: Tonminerale, Glimmer (Bild *h*).

4) Gerüst- oder Tektosilicate

Durch allseitige Verknüpfung entsteht ein dreidimensionales Gerüst; Beispiele: Quarz, Feldspate (Bild *i*).

Man kann die polymere Struktur der Silicate in



Verknüpfungen der SiO_4-Tetraeder
a) Insel- oder Nesosilicate
b) und *c*) Gruppensilicate
d) und *e*) Ringsilicate
f) und *g*) Kettensilicate
h) Netzsilicate
i) Gerüstsilicate

Anlehnung an *Petzold/Hinz* auch aus der Funktion des Verhältnisses O:Si ableiten. Ein Verhältnis O:Si = 4 führt zu isolierten $[SiO_4]$-Tetraedern, d.h. Inselsilicaten, und ein Verhältnis von 2 führt zu räumlich vernetzten Strukturen, d.h. Gerüstsilicaten. Die anderen S. liegen zwischen den beiden Grenzstrukturen (s. Tabelle).

Silicatkeramik – ein Begriff, der heute meist innerhalb des Gesamtgebietes Keramik* zur Gegenüberstellung zu anderen Zweigen, wie z. B. Oxidkeramik*, Nichtoxidkeramik*, PZT-Keramik* u. a., gebraucht wird. *S. beinhaltet die große Gruppe von Werkstoffen, die SiO_2 als vorherrschende Komponente enthalten.* Da SiO_2 in der Regel in Form von Tonmineralien* in die Massen eingeführt wird, spricht man auch von *Tonkeramik*. Zweckmäßig untergliedert man die S. nach den Merkmalen des gebrannten Scherbens, d. h. nach dem Gefüge, nach der Verwendung der Erzeugnisse und nach ihren (getrennten) Entwicklungen in Feinkeramik*, Grobkeramik* und Feuerfestkeramik.

s. Feuerfesterzeugnisse

Silicatose – *s.* Silicose

Silicattechnik – *zusammenfassende Bezeichnung für die technologischen Prozeßschritte Aufbereitung – Schmelzen – Formen – Sintern, die auf der Basis anorganischer natürlicher oder synthetischer Stoffe mit SiO_2 als wesentlichem Bestandteil zur Erzeugung technischer Silicate wie Keramik, Glas, Email, Zement führen.* Eingeschlossen ist auch die Weiterverarbeitung silicatischer Abfallprodukte (Schlacke, Asche u. a.) zu Steinen, Rohren u. a. Im neueren Sprachgebrauch wird der Ausdruck S. auch dann verwendet, wenn die Produktionsschritte der traditionellen S. annähernd vollständig durchlaufen werden, das Ergebnis aber nichtsilicatische Werkstoffe sind, wie Oxide, Titanate, Cermets, Carbide u. a.

Silicide – *binäre Verbindungen von Silicium und Metallen.* S. werden durch Zusammenschmelzen der Bestandteile oder durch Reduktion von SiO_2 mit erheblichem Überschuß des betreffenden Metalls gewonnen. Sie haben metallisches Aussehen und sind im allg. gegen Wasser und verdünnte Säuren beständig. Sie stellen sog. *intermetallische Verbindungen* dar und haben gute Kristallisationseigenschaften. Ein bekanntes S. ist $MoSi_2$, das als Heizleiter bis 1 700 °C Verwendung findet.

Siliciumcarbid (Carborundum) – *synthetisch gewonnene SiC-Kristalle.*

Kristallographie: S.-Kristalle treten auf als kubisches β-SiC, sog. Tieftemperaturmodifikation, und als hexagonales α-SiC, sog. Hochtemperaturmodifikation. Die Umwandlungstemperatur $\beta \rightarrow \alpha$ wird mit 2 100 °C angegeben. Der Umwandlungsmechanismus wird jedoch von einer Anzahl von Faktoren, wie Gasdruck, Atmosphäre, Verunreinigungen u. a., in einer solchen Weise beeinflußt, daß das handelsübliche S. überwiegend in der α-Form vorliegt.

Die Struktur des S. wird wesentlich bestimmt durch die Hybridisierung der Atomorbitale und den hohen Anteil an kovalenter Bindung. Letztere bewirkt eine tetraedrische Koordination bzw. führt zur Bildung elementarer Tetraederschichten. Diese Tetraederschichten können in sehr verschiedener Weise gestapelt werden; man spricht in diesem Zusammenhang von Polytypie. Allgemein ist anzunehmen, daß die energetischen Unterschiede zwischen den Phasen gering sind.

Silicatstrukturen als Funktion des O:Si-Verhältnisses

O:Si-Verhältnis	Anzahl der Brücken-sauerstoffe	Formel des Anionen-komplexes	Silicat-struktur	Dimension der Ver-netzung	Bild
4,0	0	$[SiO_4]^{4-}$	Tetraeder	0	a
3,5	1	$[Si_2O_7]^{6-}$	Doppel-tetraeder	0	b
3,0	2	$[Si_3O_9]^{6-}$	Dreierring	0	c
3,0	2	$[Si_4O_{12}]^{8-}$	Viererring	0	d
3,0	2	$[Si_8O_{18}]^{12-}$	Sechserring	0	e
3,0	2	$^{1}_{\infty}[SiO_3]^{2-}$	Kette	1	f
2,75	2	$2\,^{1}_{\infty}[Si_4O_{11}]^{6-}$	Doppelkette	1	g
2,3	3	$^{2}_{\infty}[Si_4O_{10}]$	Schicht	2	h
2,0	4	$^{3}_{\infty}[SiO_2]$	Gerüst	3	i

Physikalische Eigenschaften: $H = 9{,}5$ nach *Mohs*; damit im Zusammenhang sind der *E*-Modul, die Bruch- und Biegefestigkeit hoch. Die Wärmeleitfähigkeit liegt bei Zimmertemperatur mit etwa 40 W(m K)$^{-1}$ in der Größenordnung des Eisens und beträgt bei 1 500 °C noch 10 W(m K)$^{-1}$.

S. ist ein Halbleiter; Dotierungen mit dreiwertigen Elementen führen zum p-Typ, Dotierungen mit fünfwertigen Elementen zum n-Typ. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit läßt sich in weiten Grenzen variieren.

Gegenüber den meisten Agenzien ist S. sehr widerstandsfähig, jedoch von oxydierenden basischen Schmelzen wird es angegriffen. Durch Sauerstoff wird S. bei hohen Temperaturen unter Bildung von SiO_2 und CO oxydiert. Die Bildung einer SiO_2-Schutzschicht – zunächst amorph – dann zu Cristobalit kristallisierend, verlangsamt die weiteren Reaktionen. S. schmilzt inkongruent bei 2 830 °C, unter Normaldruck tritt jedoch schon ab 2 000 °C eine merkliche Dissoziation ein. Die technische Darstellung des S. kann erfolgen

- nach dem *Acheson*-Verfahren aus Quarzsand und Petrolkoks bei Temperaturen von 2 100 bis 2 300 °C in einer komplexen Reaktionsfolge; die erzielten Reinheiten liegen bei 98 bis 99 %,
- über eine Gasphasenreaktion aus Siliciumhalogeniden und Kohlenwasserstoffen,
- durch Zersetzung von Methylchlorsilanen.

[133, 144, 478, 481]

Siliciumcarbid-Werkstoffe – *keramische Werkstoffe auf SiC-Basis* mit einem breit gefächerten Einsatzgebiet. Nach der Herstellungstechnologie unterscheidet man:

1) keramisch gebundene Werkstoffe

Die aus einer Mischung von SiC-Körnern und Ton (5 bis 20 %) hergestellten Formkörper werden bei 1 400 °C gebrannt. Ein Werkstoff mit 90 Masse-% SiC hat etwa folgende Eigenschaften: $D = 2{,}55$ g cm^{-3}, offene Porosität = 15 %, Biegefestigkeit bei 20 °C = 20 MPa, bei 1 250 °C = 38 MPa, bei 1 400 °C = 18 MPa, Druckfestigkeit bei 20 °C = 200 MPa, bei 1 400 °C = 80 MPa, Wärmeleitfähigkeit (1 250 °C) = 13,3 W(m K)$^{-1}$, *WAK* $\alpha_{30-1500} = 5{,}8 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, Einsatztemperatur (oxydierend und reduzierend) bis 1 500 °C.

2) nitridgebundene keramische Werkstoffe

Werkstoffe mit 85 Masse-% SiC haben etwa folgende Eigenschaften: $D = 2{,}6$ g cm^{-3}, offene Porosität = 15 %, Biegefestigkeit bei 20 °C = 28 MPa, bei 1 250 °C = 34 MPa, bei 1 450 °C = 30 MPa, Wärmeleitfähigkeit (1 250 °C) = 17,2 W(m K)$^{-1}$, *WAK* $\alpha_{30-1000} = 5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, oxydierender Einsatz bis 1 590 °C.

3) reaktionsgesinterte Werkstoffe

Die Formkörper bestehen aus einer Mischung von SiC, Graphit und metallischem Si; die Sinterung bei 1 400 bis 1 500 °C führt zu einer Neubildung von β-SiC, welches die Bindung zwischen den ursprünglichen SiC-Körnern übernimmt. Nach anderen Verfahren werden die Formkörper aus SiC und Graphit in Kontakt mit flüssigem Si erhitzt. Solche Werkstoffe enthalten etwa 10 % freies metallisches Silicium.

Werkstoffe mit 90 Masse-% SiC und 10 % Si haben etwa folgende Eigenschaften: $D = 3{,}12$ g cm^{-3}, offene Porosität <0,1 %, *WAK* $\alpha_{30-1000} = 4{,}3 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, Wärmeleitfähigkeit (600 °C) = 60 W(m K)$^{-1}$.

4) rekristallisierte Werkstoffe

Sie werden bei Temperaturen >2 000 °C gesintert. Werkstoffe mit 99 Masse-% SiC haben etwa folgende Eigenschaften: $D = 2{,}6$ g cm^{-3}, offene Porosität = 16 %, *WAK* $\alpha_{30-1000} = 4{,}3 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, Biegefestigkeit bei 20 °C = 100 MPa, bei 1 250 °C = 120 MPa, bei 1 450 °C = 130 MPa.

5) druckgesinterte Werkstoffe

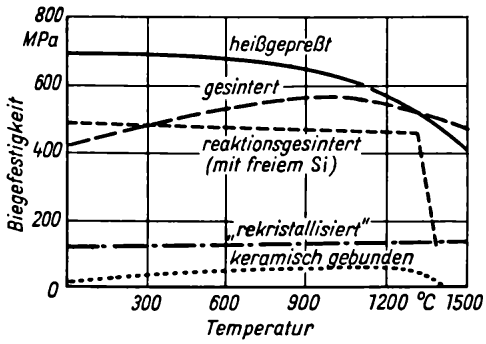
Werkstoffe mit 99 Masse-% SiC haben etwa folgende Eigenschaften: $D = 3{,}15$ g cm^{-3}, offene Porosität <0,1 %, *WAK* $\alpha_{30-1500} = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

6) druckfrei gesinterte Werkstoffe

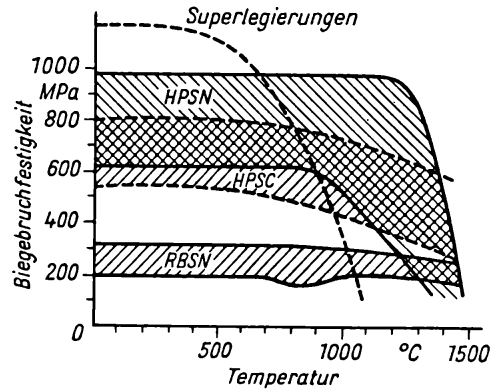
Diese Werkstoffe werden aus feinsten SiC-Kristallen unter Zusatz von Bor, Kohlenstoff, Aluminium u. a. bei etwa 2 000 °C gesintert. Werkstoffe mit 99 Masse-% SiC haben etwa folgende Eigenschaften: $D = 3{,}15$ g cm^{-3}, offene Porosität <0,1 %, *WAK* $\alpha_{30-1500} = 4{,}9 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

(Vorstehende Werte sind nach Werkprospekten zusammengestellt, siehe auch Bild nach *H. Hausner/R. Sladek*, S. 416 links).

SiC-Erzeugnisse werden als mechanisch- und korrosionsfeste Hochtemperaturwerkstoffe in der metallurgischen Industrie, als Brennhilfsmittel in der keramischen Industrie, die u. a. einen rationelleren Besatz von Tunnelofenwagen ermöglichen, eingesetzt. In der Konstruktionskeramik gewinnen S. im Motoren- und Gasturbinenbau an Bedeutung. Ferner findet SiC eine breite Anwendung als Heizleiter bis zu Temperaturen von 1 500 °C, als Schleifscheibenmaterial und als Werkstoff für



Biegefestigkeit von SiC-Werkstoffen



Halbschematische Darstellung der Biegebruchfestigkeit von SiC- und Si_3N_4-Keramik in Abhängigkeit von der Temperatur [397]

spannungsabhängige Halbleiter (Varistoren*). [133, 144, 478, 481]

Siliciummonoxid (SiO) – *durch Reduktion von SiO_2 mit Kohlenstoff bei 1 500 °C erzeugte dunkelbraune Verbindung mit einer Dichte von 2,24 g cm^{-3}, die leicht zu SiO_2 oxydiert.*

Verwendung: in der Präparationstechnik für Elektronenmikroskope, zur Herstellung beständiger SiO_2-Überzüge u. a.

Siliciumnitrid (Si_3N_4) – *hexagonale Kristalle, die sich von der Niedertemperaturform (α) bei 1 500 °C irreversibel in die Hochtemperaturform (β) umwandeln.* (Der Unterschied der Gitter ist unwesentlich.) Allgemein kennt man an Werkstoffen:

- reaktionsgesintertes Si_3O_4 (RBSN = Reaction Bonded Silicone Nitride), das durch Sinterung von Si-Pulver im Stickstoffstrom bei 1 400 °C gewonnen wird; Formgebung ist durch Schlikkergießen, Spritzgießen, Pressen (isostatisch) möglich,
- heißgepreßtes Si_3O_4 (HPSN = Hot Pressed Silicone Nitride), das durch Heißpressen von Si_3N_4-Pulver mit sinterungsbegünstigenden Zusätzen, wie MgO, Y_2O_3, Al_2O_3, CaO u. a., erzeugt wird,
- traditionell gesintertes Si_3N_4 (SSN = Sintered Silicone Nitride),
- Sialone (Si_3N_4 + Al_2O_3 → Si-Al-O-N-Werkstoffe) werden durch traditionelles Pressen bzw. Heißpressen geformt; Al kann durch Mg, Y oder Be ersetzt werden, weshalb diese Gruppe auch *Si-Me-ON-Mischkristallkeramik* genannt wird,
- nitridgebundenes SiC – SiC + Si_3N_4 wird aus feinkörnigen Mischungen von SiC + Si-Pulvern im Stickstoffstrom gewonnen; das Sintern im Stickstoffstrom bedingt die Reaktion des Si mit N zu Si_3N_4, weshalb man auch allgemein von Nitridieren spricht.

Eigenschaften von Si_3N_4-Keramik siehe Tabelle.

Eigenschaften von Si_3N_4-Keramik

	RBSN	HPSN	SSN
Theoretische Dichte in g cm^{-3}	3,185	3,185	3,185
Werkstoffdichte in g cm^{-3}	2,0...2,8	3,18	2,4...2,6
offene Porosität in %	30... 40	0	15... 25
WAK $\alpha_{20/1000}$ in 10^{-6} K^{-1}	2,5...3,0	2,8...3,5	3,0...3,5
Wärmeleitzahl in W (m K)$^{-1}$	8... 40	25... 35	20...30
Biegefestigkeit bei 20 °C in MPa	180...260	760...930	590
Heißbiegefestigkeit bei 1 250 °C in MPa	230...240	180...250	380
E-Modul in GPa	140...175	210...300	240
spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C in Ωcm	10^{10}...10^{14}	10^{14}	10^{10}...10^{14}
Dissoziationstemperatur in °C	1 900	1 900	1 900

Dichtes S. hat wegen der fehlenden Porosität einen höheren E-Modul und höhere Bruchenergie; gleiches gilt auch für die *TWB*, wobei die β-Modifikation die Wärmeleitfähigkeit erhöht. In oxydierender Atmosphäre bildet sich eine SiO_2-Schicht an der Oberfläche aus, die das Material vor weiterer Oxydation schützt. Beim RBSN ist auf Grund der vorhandenen Porosität eine innere Oxydation nicht zu vermeiden.

Verwendung: als Schneidwerkstoffe, im Motorenbau u. a.

[133, 397, 481, 482]

Siliciumwiderstand – *in einen porzellanartigen Träger eingebettetes Pulver aus 96%igem FeSi-Pulver, das nach schneller Sinterung einen niedrigen spezifischen Widerstand zeigt. Haase* gibt als Träger eine Zusammensetzung von 46,8 % Tonsubstanz, 15,9 % Quarz, 29,8 % Feldspat und 7,5 % Talk an. Mit einem Gemisch von 38 % 96%igem FeSi und 62 % Trägermaterial werden spezifische Widerstände von $\varrho = 0{,}1$ bis $10\,\Omega$ cm erhalten.

Silicone (Polysiloxane) – *makromolekulare silicium-organische Verbindungen, deren Grundgerüst aus Silicium und Sauerstoff besteht.* Sie werden in Form von Ölen, Fetten, Harzen, Lacken, Kautschuk vielseitig angewendet. Allen gemeinsam ist ihr wasserabweisendes Verhalten, ihre gute elektrische Isolierfähigkeit, die Unveränderlichkeit ihrer Eigenschaften innerhalb eines großen Temperaturbereichs. In der Keramik werden sie als Bindemittel, als Hilfsmittel zum Erreichen einer relativen Bildsamkeit völlig unbildsamer Massen, zur Imprägnierung von Ziegeln, als Hochtemperaturschmierfett für Ofenwagen, Lüftermotoren u. a. verwendet.

Silicose – *eine Berufskrankheit, hervorgerufen durch Einatmen von feinem quarz- oder SiO_2-haltigem Staub über längere Zeit hinweg mit nachfolgender Schädigung der Lunge.* Wirksam sind die Teilchengrößen <5 bis 10 µm, wobei die von 0,5 bis 2,0 µm am gefährlichsten sind. Je nach dem Anteil der Staubkonzentration (Quarzanreicherung) und der Zeitdauer des Einwirkens kommt es im Lungengewebe zur Bildung von Knötchen und Schwielen. Die Lungenbläschen werden beschädigt, sie entzünden sich, schrumpfen, und es kommt zur Lungenfibrose. Die Entwicklung kann sich über Jahrzehnte erstrecken, auch nach Ausscheiden aus der Staubarbeit. Die S. ist im ersten Stadium röntgenologisch festzustellen, macht sich von einem bestimmten Stadium an in einer Leistungsverminderung von Atmung und Kreislauf bemerkbar. Stäube von Talk, Ocker, Kieselgur führen zur Silicatose nach erheblich längerer Einwirkzeit. Vorbeugend wirken Atemschutz, Entlüftung, Absaugung, Anfeuchten des entstehenden Staubes, Verkleidung der Maschinen, Arbeitsschutzbelehrungen usw.

Sillimanit (Faserkiesel, Fibrolith, $Al[AlSiO_5]$ bzw. $Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

Kristallographie: orthorhombisch; S. bildet verfilzte Aggregate, hat eine Kettenstruktur, wobei die Ketten abwechselnd von SiO_4- und AlO_4-Tetraedern gebildet werden.

Physikalische Eigenschaften: gelblich bis blaugrün; $H = 6$ bis 7; $D = 3{,}2\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}657$ bis 1,661, $n_\beta = 1{,}658$ bis 1,662, $n_\gamma = 1{,}677$ bis 1,684, $\Delta n = +0{,}020$ bis $+0{,}023$; $2V = 20$ bis 30°

S. ist polymorph mit Andalusit, Disthen (Cyanit), zersetzt sich bei etwa 1 550 °C in Mullit und Kieselglas bzw. bei 1 800 °C in Korund und SiO_2-Schmelze.

Verwendung: für ff. Produkte und technisches Porzellan.

SiMeON-Werkstoffe (Me = Metall: Al, Mg, Y u. a.) – *zu den Nitridwerkstoffen zählende Mischphasenwerkstoffe,* die gegenüber reinen Nitriden eine Anzahl von Vorzügen aufweisen, wie hohe Korrosions- und Oxydationsbeständigkeit, *WAK* $\alpha = 3 \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$, $\lambda = 20\ \mathrm{W(m\,K)^{-1}}$ und $\varrho > 10^{12}\,\Omega$ cm.

Die Werkstoffe können in Direktsynthese aus Oxiden und Siliciumnitrid hergestellt werden; es sind dabei folgende Anforderungen zu beachten:

- Feinstpulver in äußerst homogener Mischung,
- zur Unterdrückung von Abdampfverlusten beim Sintern müssen die Formlinge in thermisch leichter zersetzbare Pulver ähnlicher Zusammensetzung eingebettet werden,
- weitgehender Ausschluß von Verunreinigungen (geringste Mengen Eisenabrieb drücken die Zersetzungstemperatur von 1 800 °C schon auf 1 400 °C herab).

[513]

Sinter – *amorpher oder kristalliner Absatz aus Quellen, wandernden Lösungen oder in Rohrleitungen.* Man kennt:

1) Kieselsinter, Geyserit – ein aus Opal bestehender Absatz aus heißen SiO_2-haltigen Quellen.

2) Kalksinter, Kalktuff, Süßwasserkalk, Travertin – weißes, graues, gelbliches Calciumcarbonat.

Sinteraktivität – *Fähigkeit von Pulvern, aufgrund ihres hohen Maßes an freier Oberflächenenergie*, hoher Fehlordnungsdichte* und Nichtvorhandensein von Diffusionsbarrieren (z. B. monomolekulare Oxidfilme) bereits bei Temperaturen den Sinterprozeß einzuleiten, die für den betreffenden Stoff nicht typisch sind.*

s. Tribochemie

Sinterdolomitsteine – *auf der Basis von natürlichen Dolomiten* hergestellte hochfeuerfeste basische Materialien.*

Die aufbereiteten Dolomite werden im Trockenverfahren geformt und im Tunnelofen gebrannt. Dabei erfolgt im Temperaturbereich von 500 bis 900 °C die sog. Decarbonisierung; die Sinterung tritt erst bei Temperaturen von 1600 bis 1700 °C ein. Sind nennenswerte Mengen von SiO_2 in den Rohstoffen nicht vorhanden, beruht die keramische Bindung auf Rekristallisation und Brückenbildung des MgO und CaO. Zum Schutze gegen die starke Neigung des CaO zur Hydratbildung werden die gebrannten Steine mit Teer getränkt. In zunehmendem Maße werden S. nach einer Technologie hergestellt, die die Rohstoffe mit Teer bzw. Pech einbindet und bei etwa 400 °C verfestigt. Die eigentliche keramische Bindung tritt dann erst während des Einsatzes ein. Durch dieses Verfahren werden neben erheblichen Energieeinsparungen insbesondere die *TWB* und die Schlakkenresistenz verbessert. Ein völliges Ausbrennen des Kohlenstoffs sollte jedoch vermieden werden.

Die physikalischen Eigenschaften der S. entsprechen – bei gleicher Reinheit – etwa denen der Sintermagnesia; gegenüber Fe_2O_3-haltigen Schlakken sind sie den Magnesiasteinen überlegen.

Der Einsatz der S. erfolgt vornehmlich in Stahlwerken, daneben in der Zement- u. Kalkindustrie. [153, 168]

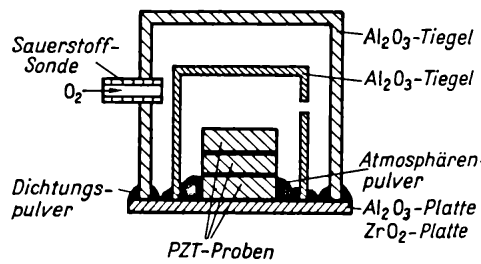
Sinterfähigkeit – *Eigenschaft entsprechend vorbereiteter Pulver*, durch thermochemische Reaktionen während des Brandes einen Werkstoff mit anderen (höheren) Eigenschaften als die der Ausgangsprodukte zu bilden.*

Die Forderungen an die technischen Parameter moderner Keramik erlauben vielfach nicht mehr, natürliche Rohstoffe in eine keramische Masse* einzuführen, vielmehr kommen Pulver zum Einsatz, die durch verschiedene Aufbereitungsverfahren, chemische Umsetzungen, fraktionierte Kristallisationen* und spezielle Herstellungsverfahren zu einer erhöhten Sinteraktivität gebracht werden. Einfluß auf die S. der Pulver haben:

- die Morphologie*; feine Korngrößen <1 µm (ideal: <0,5 µm), enge Kornverteilung (ideal: monodispers), äquiaxiale Kornform (ideal: sphärisch), keine harten Agglomerate* (ideal: Primärkorn*),
- die chemische Zusammensetzung; weitestgehende Freiheit bezüglich Art und Menge der Verunreinigungen,
- der kristalline Zustand; Art und Menge der Phasen*, ihre Homogenität bzw. Verteilung.

Wird die Kenntnis der Einflußfaktoren auf die S. der Pulver genutzt, so können Werkstoffe mit günstigen Gefügeeigenschaften unter erleichterten Bedingungen (niedrigere Brenntemperatur, kürzere Brenndauer u. a.) hergestellt werden. [397, 482]

Sintergefäß – *speziell für das Sintern von PbO-haltiger Keramik hergestellte Anordnung aus Al_2O_3 bzw. ZrO_2* (s. Bild).



Anordnung zum Sintern von bleihaltiger ferroelektrischer Keramik in Sauerstoff und bei einem hohen Partialdruck von Bleioxid

Bei der Sinterung bleihaltiger Werkstoffe, z. B. PZT-Keramik*, in konventionellen Öfen ist ein Verdampfen von Bleioxid nicht zu umgehen. Die Folgen können in einer empfindlichen Störung der Stöchiometrie infolge Reaktionen des PbO mit der Umgebung, insbesondere mit den Ofenmaterialien, und beim Entweichen aus dem Ofen in einer Belastung der Umgebung mit dem stark toxischen Bleioxid bestehen. Als Vorkehrung zur Beherrschung der Bleiatmosphäre dienen spezielle Kapseln, sog. S. Innerhalb der Kapseln erfolgt die Regulierung der Bleiatmosphäre über Pulver oder

Tabletten mit PbO-Überschuß in der unmittelbaren Umgebung des Sintergutes oder durch PbO-Überschuß im Werkstoff. Die Größe des Überschusses ist abhängig von Faktoren wie der Art des Sintergutes, der Belegung der Kapseln, der Abdichtung gegenüber der Umgebung und der Höhe der Sintertemperatur, die den PbO-Dampfdruck bestimmt. [239]

Sintergrad (lat.: gradi, gradior = schreiten) – *Brennfortschritt einer Masse/Formling, erkenntlich an Schwindung*, Klang des Scherbens als Kriterium für eingetretene Verfestigung, Farbe.* Für eine genaue Beurteilung des S. ist es zweckmäßig, die Dichte* zu bestimmen, es gilt dann:

$$\varrho^* = \frac{\varrho_{roh}}{\varrho_{rein}} 100\,\%$$

ϱ^* Sintergrad (in %)
ϱ_{roh} Rohdichte (in g cm^{-3})
ϱ_{rein} Reindichte (in g cm^{-3}).

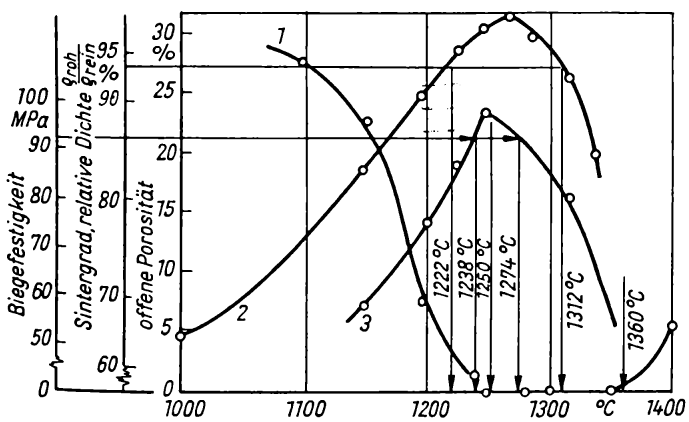
Von einigen Autoren wird der S. auf die theoretische Dichte* bezogen (angegeben bei Werkstoffen der Strukturkeramik*), dann gilt:

$$\varrho^* = \frac{\varrho_{roh}}{\varrho_{theor.}} 100\,\%$$

[1, 123, 143, 162, 221, 222]

Sinterintervall (lat.: intervallum = Zwischenraum) – *Teilabschnitt einer Brennkurve*, in dem ein Werkstoff unter technologisch und ökonomisch sinnvollen Bedingungen seine optimalen Eigenschaften erreicht* (s. Bild). Aus dem Bild ist ersichtlich, daß bei Bewertung mehrerer Eigenschaften nicht alle ihr Optimum innerhalb gleicher Temperaturgrenzen aufweisen. So wird z. B. im einzelnen als S. der angestrebten Biegefestigkeit σ 1238 bis 1274 °C, des Sintergrades* ϱ 1222 bis 1312 °C und der offenen Porosität* oP 1250 bis 1274 °C gefunden. Lediglich der Temperaturbereich 1250 bis 1274 °C ist allen drei Eigenschaften gemeinsam; außerhalb dieser engen Grenzen müssen Kompromisse geschlossen werden. Als Erfahrungswert wird das S. mit 0,7 bis 0,8 T_S für oxidische und silicatische Massen angesetzt, wobei T_S die Schmelztemperatur des betreffenden Stoffes in K bedeutet. Diese Beziehung gilt angenähert nur für Einstoffsysteme, für Mehrstoff- und aktivierte Systeme (s. Tribochemie) kann sie erheblich davon abweichen. Tatsächlich muß das S. durch Brennproben ermittelt und bei laufenden Massen regelmäßig kontrolliert werden. Bestimmte Werkstoffe (z.B. Cordierit*) weisen ein S. von nur wenigen Grad auf; in solchen Fällen kann man das S. verbreitern, indem ein Teil der Massekomponenten vorgesintert wird. [1, 14, 123, 143]

Sinterkorund – *oxidkeramische dichte Werkstoffgruppe auf der Basis von α-Al_2O_3.* Diese Gruppe ist nach KER 708 (90 bis 99% Al_2O_3) und KER 710 (>99% Al_2O_3) in TGL 7838 standardisiert. Ausgangsmaterial ist hochreine, feinzerkleinerte Tonerde (s. Aluminiumoxide). Der völlig unbildsame Rohstoff kann bei entsprechender Aufbereitung nach jedem keramischen Verfahren geformt werden. Am häufigsten werden angewendet: Schlickergießen (in sauren, alkalischen oder organisch-neutralen Medien), Foliengießen (auf Latexbasis) und nachfolgend Kalandrieren, thermoplastische Verfahren, wie Extrudieren* (Strang-



Sinterintervall eines quarzreichen E-Porzellans

pressen) und Spritzgießen* (auf der Basis von Celluloseabkömmlingen, Polyvinylen, Wachsen u. a.), Trockenpressen* und isostatisches Pressen*. Eine mechanische Nachbearbeitung ist im getrockneten Zustand als sog. Weißbearbeitung* oder im gesinterten Zustand durch Schleifen, Läppen und Polieren möglich. Wegen der hohen Härte des S. kommen jedoch nur Diamantschleifscheiben bzw. Diamantpasten in Betracht.

Die Sinterung läuft als sog. trockene Sinterung* bei Temperaturen von 1750 bis 1850 °C ab. Dabei beträgt die lineare Schwindung 10 bis 20%. Erwünscht ist ein gleichmäßiges, isotropes, feinkörniges und porenarmes Gefüge. Um eine zu starke Rekristallisation des α-Al_2O_3 zu verhindern, werden die Massen mit Inhibitoren*, z. B. ≈0,5% MgO, dotiert. Durch geringe Zusätze von Cr_2O_3 entsteht der rötliche Sinterrubin*, der sich durch hohe Zähigkeit auszeichnet. Zusätze von etwa 5% des Systems MnO_2-TiO_2-Fe_2O_3 senken die Sintertemperatur merklich, der Werkstoff weist dann eine braun-rötliche Farbe auf. S. kann nur nachträglich mit einer Fritteglasur bei ≈1300 °C versehen werden.

S. hat folgende Verwendung: Laborgeräte, verschleißfeste Teile im Maschinenbau, Ziehkonen für die Drahtherstellung, Düsen, Fadenführer, Substrate* für elektronische Schaltungen, vakuumdichte Verkapselungen, in der Beleuchtungstechnik als transparente Keramik*, Schneidkeramik*, Implantate der Biokeramik*.

Werkstofftechnische Angaben (KER 710)

Elastizitätsmodul	300 bis 10^3 N mm^{-2}
Wärmeleitfähigkeit, 20 bis 100 °C	20 bis 28 W(m K)$^{-1}$
WAK 200 bis 1000 °C	7 bis 8,5 · 10^{-6} K^{-1}
Sinterdichte	3,7 bis 3,95 g cm^{-3}
Reindichte	3,98 g cm^{-3}
Kegelfallpunkt	1980 °C
Härte nach *Mohs*	9

Sintermagnesia (MgO) – *ein gegen basischen Angriff und Arbeitstemperaturen bis 2400°C ausgezeichnet widerstandsfähiger Werkstoff.* Ausgangsstoff ist bei 1700 °C calciniertes $MgCO_3$. Durch die hohe Calcinierungstemperatur wird die chemische Reaktionsfähigkeit herabgesetzt und damit die Hydratisierung stark vermindert. Zum Verpressen werden dem <5 µm zerkleinerten Pulver geringe Mengen 2%ige $MgCl_2$-Lösung zugesetzt, die Rohlinge werden dann oxydierend bei 1800 bis 1900 °C gesintert. *WAK* α bei 100 °C = 11 · 10^{-6} K^{-1} und bei 1800 °C = 16 · 10^{-6} K^{-1}.

s. Periklas

Sintermetalle – *über die Pulvermetallurgie durch Sinterung gewonnene Werkstoffe.* Dazu zählen:

1) hochschmelzende Metalle (wie Wolfram, Molybdän)

2) Pseudolegierungen

Metallgemenge, die sich nicht oder nur begrenzt legieren lassen. Die Komponenten behalten weitgehend ihre spezifischen Eigenschaften. So sind z. B. in Kupferträniklegierungen, die im Hochspannungsschalterbau verwendet werden, die hohe Härte und der hohe Schmelzpunkt des Wolframs und die gute Leitfähigkeit des Kupfers vereinigt.

3) Verbundwerkstoffe

Diese bestehen aus Metallen und Nichtmetallen (z. B. die Reib- und Gleitwerkstoffe auf der Basis von Eisen und Graphit u. a.).

4) poröse Werkstoffe

Diese basieren auf Sintereisen und -bronze, die als Metallfilter zum Reinigen von Gasen bei höheren Temperaturen oder mit Öl getränkt für selbstschmierende Gleitlager verwendet werden, u. a.

5) Reinstmetalle

Diese werden frei von Tiegelwerkstoffen hergestellt.

Sintermodelle – *geometrisch-mathematisch formulierte Darstellungen der unter den thermodynamischen Bedingungen des Sinterprozesses ablaufenden Vorgänge zwischen den einzelnen Pulverteilchen und im verdichteten Formling.*

Nach dem Zustand des Sintergutes werden unterteilt:

1) Trockene Sinterung – gebunden an einphasige und nichtschmelzende mehrphasige Systeme. Bei Abwesenheit von Schmelzen* treten als Stofftransportmechanismen Diffusionen*, Verdampfung* und Kondensation* in Erscheinung. Das Wachsen des Sinterhalses (s. Sinterung) wird beschrieben durch die Gleichung

$$\frac{x^n}{r^m} = K_1 \frac{\gamma a^3 D}{kT} t$$

und die lineare Schwindung durch

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)^q = K_2 \frac{\gamma a^3 D r^s}{kT} t.$$

2) Nasse oder Glassinterung – bei ein-, aber auch mehrphasigen Pulvern aus amorpher/glasiger Substanz auftretend, Stofftransport nur durch viskoses Fließen* erfolgend.
Das Zusammensintern von 2 Kugeln kann allgemein formuliert werden durch

$$\frac{x^2}{r} = \frac{3\gamma}{2\eta} t$$

und die lineare Schwindung durch

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{3\gamma}{4\eta r} t.$$

Diese beiden Modelle gelten nur für hochreine Werkstoffe der Oxidkeramik*, der Nichtoxidkeramik* und der Sinterglaskeramik. Für die Mehrzahl der keramischen Werkstoffe, die aus mehrphasigen Pulvergemischen hergestellt werden und durch Begleitminerale der natürlichen Rohstoffe verunreinigt sind und/oder zur Erzielung bestimmter Effekte dotiert werden, gilt das Modell annähernd.
3) Nasse Sinterung mit reagierenden Schmelzen, d. h. Stofftransport vorwiegend durch viskoses Fließen und Diffusion.
Wegen der ständig fortschreitenden Reaktionen zwischen den Phasen ist eine rein geometrische Betrachtung des Wachstums des Sinterhalses nicht gegeben, Sinterbeginn und Sinterfortschritt werden durch die lineare Schwindung ersichtlich:

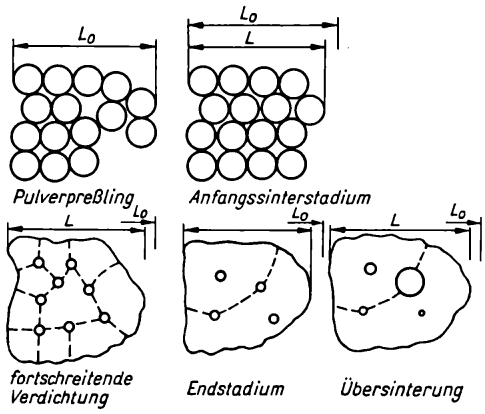
$$\frac{\Delta L}{L_0} = \sqrt{\frac{K \delta D C_0 \gamma_L v_0 t}{r^4 R T}}.$$

4) Nasse Sinterung mit nichtreaktiven Schmelzen wird beobachtet in den Werkstoffbereichen Keramovitrone*, Cermets*, Nichtoxidkeramik* und oxidische Mehrstoffsysteme.
Unter Betriebsbedingungen liegt eine Schwierigkeit für die Anwendung dieser mathematischen Formulierungen darin, daß die stoff- und temperaturabhängigen Exponenten und Faktoren experimentell ermittelt bzw. durch Analogieschlüsse gefunden werden müssen. [1, 143, 219, 220]
Es bedeuten die Symbole bei allen Sintermodellen:

x	Radius des Sinterhalses
r	Teilchenradius
a^3	Volumen einer Leerstelle im Kristallgitter
D	Diffusionskoeffizient der festen oder flüssigen Phase
γ	spezifische Oberflächenenergie
γ_L	Oberflächenspannung der flüssigen Phase gegen Gas
η	Zähigkeit oder scheinbare Zähigkeit
k	*Boltzmann*sche Konstante
R	allgemeine Gaskonstante
T	absolute Temperatur
t	Zeit
n, m	Sinterexponenten (s. Tabelle Sinterung)
q	Exponent $1{,}5 \leqq q \leqq 3{,}2$
s	Exponent $-4 \leqq s \leqq -3$
K_1, K_2	Konstanten, deren Werte von den verschiedenen Autoren unterschiedlich angegeben werden
L_0	Bezugslänge vor Sinterbeginn
ΔL	Längenänderung während des Sinterns
δ	Reaktionsfilmdicke zwischen zwei Teilchen
C_0	Löslichkeit der festen Phase in der Schmelze.

Sinterspinell ($MgO \cdot Al_2O_3$) – *chemisch sehr widerstandsfähiger und bei hohen Temperaturen beanspruchbarer keramischer Werkstoff.* In Korngrößen <5 µm werden die reinen calcinierten Rohstoffe MgO und Al_2O_3 im molaren Verhältnis trocken gemischt, brikettiert und bei 1 800 °C gesintert, wieder zerkleinert, geformt und nochmals bei 1 900 °C gesintert. Da der S. basischer als Sinterkorund ist, verhält sich der Scherben gegenüber Alkalien, geschmolzenem PbO, $BaCl_2$ u. a. widerstandsfähiger als Sinterkorund.
$D = 3{,}2\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2\,100\ °C$; $\sigma_Z = 140\ MPa$; $\alpha_{20/100} = 6{,}6$ bis $8{,}8 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$; $c = 0{,}84\ J\ g^{-1}\ K^{-1}$.

Sinterung – *unter bestimmten Temperatur-, Druck-, Zeit- und atmosphärischen Bedingungen ablaufender Prozeß, der den Übergang eines Pulvers durch Bildung von Stoffbrücken in ein mechanisch festes Gebilde bewirkt, dessen Eigenschaften einer kontinuierlichen Phase ähneln.*
Äußerlich erkennbar ist S. an der Schwindung* des Ausgangsmaterials (s. Bild S. 422 oben).
Die treibenden Kräfte der S. haben ihre Ursachen in dem Bestreben, die Oberfläche des Systems zu verkleinern, und in chemischen Reaktionspotentialen, die sich im Gefolge des Brennregimes ausbilden. Dazu laufen in den Mikrobereichen außer Adhäsionsvorgängen noch Diffusionen* ab, die sich in chemischen Reaktionen/Festkörperreaktionen*, Schmelzvorgängen und Korrosionen äußern können; im Endstadium kommen oftmals noch Rekristallisationen* und Kristallwachstum* hinzu. Die Verfestigung des Pulvers durch Stoffbrücken setzt einen Stofftransport voraus und bedingt die



Sinterung

Abnahme des Porenvolumens (Sintergrad*). Bei der Durchdringung der Sintervorgänge wurde zunächst für das Aufsintern einer Glaskugel auf eine ebene Platte in Abhängigkeit von der Zeit beim isothermen Halten die Gleichung

$$\frac{x^n}{r^m} = k\,t$$

- x Radius des Sinterhalses (kreisförmige Verbindungsfläche zwischen Kugel und Platte)
- r Kugelradius
- t Zeit
- n, m Sinterexponenten (Festlegung durch vorherrschenden Sintermechanismus, s. Tabelle)

formuliert (s. Bild).

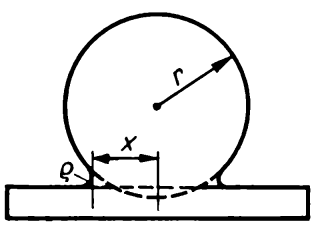
Die Änderung der Porosität in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur läßt sich durch folgende phänomenologische Gleichung darstellen:

$$P = P_0 \exp(-a\,t^m)$$

- a $3/4\eta(2\gamma/r - \Delta p)$
- P Porosität zum Zeitpunkt t (in %)
- P_0 Porosität des getrockneten Körpers (in %)
- m temperaturabhängiger Sinterexponent ($m > 0$ – Verdichtung, $m < 0$ – Blähung, $m = m(T)$)
- T Temperatur (in K)
- η scheinbare Viskosität* (in Pa s)
- γ Oberflächenspannung* der Schmelzphase gegen Gasphase (in Pa)
- r mittlerer Porenradius
- Δp Poreninnendruck.

Werte der Exponenten n, m für die Transportmechanismen

Transportmechanismus	n	m
viskoses Fließen	2	1
Volumendiffusion	5	2
Oberflächendiffusion	7	3
Verdampfung/Kondensation	3	1



Modell des Sinterns einer Kugel auf einer Platte

Die mit Hilfe dieser Gleichung erzielbaren Näherungswerte sind in hohem Maße abhängig von den Abschätzungen der Werte für die Viskosität im sinternden Scherben.

Für die verschiedenen keramischen Massen wurden Sintermodelle* aufgestellt, die den komplizierten Prozeß der S. besser beschreiben. Allgemein jedoch werden bei allen Sintervorgängen etwas vereinfachend unterschieden:

- Anfangsstadium – charakterisiert durch Anbakken der Teilchen, Vergrößerung der Kontaktflächen und dem aus dem Pulver entstandenen Körper von mindestens 2 Phasen, Feststoff und Poren,
- fortschreitende Verdichtung – noch offene unregelmäßig geformte Poren, Auftreten von lokalen Schmelzen (je nach Massezusammensetzung), deutliche Wandlung der Eigengestalt der Pulverteilchen,
- Endstadium – innerhalb des sog. Sinterintervalls* weit fortgeschrittene Verdichtung, im wesentlichen nur noch isolierte Poren, Eintreten von Rekristallisation bei Abwesenheit von Schmelze, Anwachsen von großen Körnern mit konkaven Grenzflächen durch Aufzehrung der kleinen Körner an konvexen Grenzflächen,
- Übersinterung – Stattfinden einer intensiven Rekristallisation nach Überschreiten der Dichtsintertemperatur, damit Porenvergrößerung innerhalb der Schmelzphasen als Folge des Ansteigens des hydrostatischen Druckes der eingeschlossenen Gase, d. h. Überschreiten des werkstofftechnischen Optimums.

Für Oxide und Silicate liegt in erster Näherung

die Sintertemperatur bei etwa 0,7 bis 0,8 T_S (= absolute Schmelztemperatur). [1, 17, 143, 219]

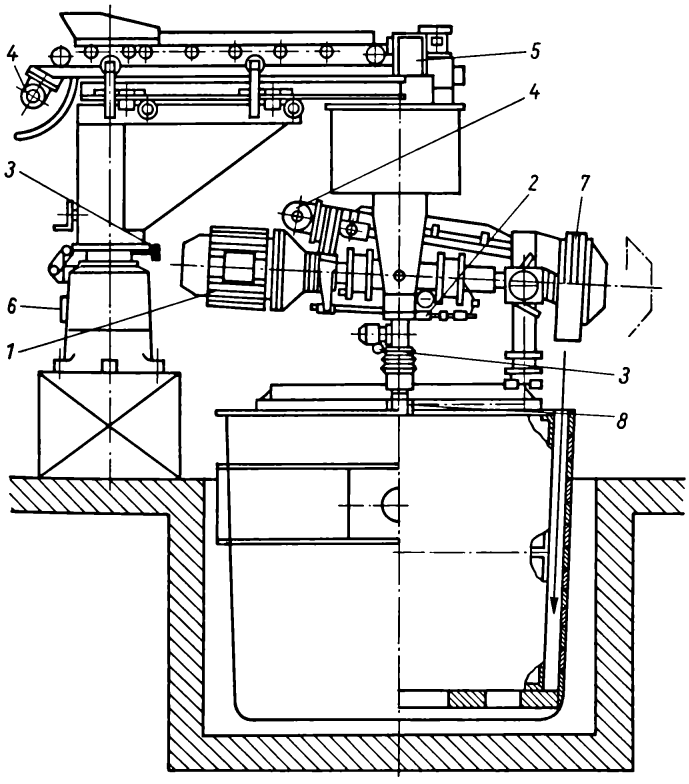
Sinterzirkonsilicat ($ZrSiO_3$) – *auf der Basis gereinigter Rohstoffe bei 1 600 °C gesinterter hochfeuerfester Werkstoff, der sich durch gute TWB auszeichnet.* Laborgeräte aus S. sind gegen sämtliche Säuren (einschließlich Flußsäure) beständig, dagegen werden sie von basischen Stoffen angegriffen; $H = 7{,}5$; $D = 4{,}6\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$; $\alpha = 4{,}5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$ (bis 1 400 °C).

Sintolan – *ein in der DDR entwickeltes Feinsteinzeug* mit dichtem, gelblich-hellgrauem Scherben,* meist mit einer Farbglasur versehen. Masserohstoffe sind Kaoline, feinkörnige Tone, Sand und Feldspat. Die Herstellung entspricht etwa der des Porzellans. Der Glühbrand erfolgt bei etwa 950 °C, der Glattbrand bei etwa 1 250 °C. S. findet hauptsächlich als Haushalt- und Hotelgeschirr Verwendung.

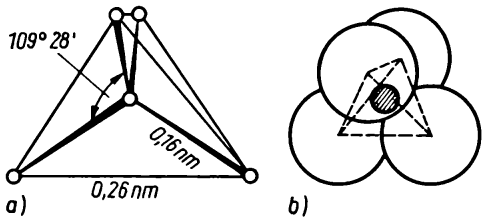
s. Steinzeug

SiO_4-Tetraeder – *grundlegendes Bauelement der Kieselsäure und Silicate.* Diese Polyederkonfiguration läßt sich aus den Radienverhältnissen $r_{Si_4^+} : r_{O_2^-} \approx 3$ bzw. aus dem sp^3-Elektronenzustand des Siliciums ableiten. Die hohe Ladung des Siliciumions führt zu einer starken Versteifung des Sauerstoffions, daher tritt das SiO_4-Tetraeder in den Silicatstrukturen immer als selbständige Baugruppe auf, unabhängig davon, ob in diskreter, isolierter Form oder mit anderen SiO_4-Tetraedern über Brückensauerstoff, zu Ketten, Bändern, Schichten oder Gerüsten vernetzt (s. Bilder S. 424).

Slinger – *Maschine zum Zustellen* von Verschleißschichten in Gießpfannen* (s. Bild). Zur Zustellung wird die Gießpfanne zentriert unter den S. gebracht. Der S. besitzt neben verschiedenen Antrieben als wesentliches Arbeitsorgan eine Wurfschaufel (Schleuderkopf). Die Wurfschaufel teilt das über Förderbänder aufgegebene Feuerfestmaterial in Portionen auf und schleudert sie mit Geschwindigkeiten von $\approx 60\ \mathrm{m\,s^{-1}}$ in den Spalt zwischen der in die Gießpfanne eingeführten Schablone und dem Dauerfutter der Gießpfanne.



Aufbau des stationären Drehslingers vom Typ DSL IVs 55
1 Schleuderradmotor
2 Bremse
3 Hubantrieb
4 Bandantrieb
5 Variotrieb
6 Schwenktrieb
7 Schleuderkopf
8 Gießpfanne



SiO_4-Tetraeder (griech: tetra = vier; hedra = Fläche)
a) schematisch mit Größenangaben
b) etwa reale Größenverhältnisse der Bausteine

Durch die hohe kinetische Energie der Massebällen wird die Masse beim Aufprall gut verdichtet. Durch eine umlaufende Bewegung des Schleuderarmes wird das Gemenge gleichmäßig über den gesamten Umfang der Gießpfanne verteilt. [39]

Smectit-Gruppe – *vollständig quellfähige Dreischichtminerale.*
s. Montmorillonitgruppe

Soda (Natrit, Natriumcarbonat, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$)
Kristallographie: monoklin
Physikalische Eigenschaften: farblos; $D = 1{,}42$ bis $1{,}47\,g\,cm^{-3}$; $H = 1$ bis $1{,}5$; *o.D.:* $n_\alpha = 1{,}405$, $n_\beta = 1{,}425$, $n_\gamma = 1{,}440$, $\Delta n = -0{,}035$; $2V = 71°$
An Luft gibt S. einen Teil ihres gebundenen Wassers ab.
Verwendung: als Peptisator (z. B. bei keramischen Gießmassen)
Es ist zweckmäßig, kristallwasserfreie, calcinierte Soda zu verwenden.

Sohlekanal – der beim Setzen von Ziegelsteinen im Ringofen mit den unteren Reihen geschaffene Kanal zum Durchzug der Brenngase.

Sol – *s.* Kolloide

Sol-Gel-Prozeß – *Verfahren zur Herstellung sehr feinkörniger, mehrkomponentiger Pulver hoher chemischer Homogenität, die sich durch besondere Sinteraktivität* auszeichnen.*
Der Begriff S-G-P. umfaßt die Arbeitsschritte Herstellen von Solen und Überführen in Gele. Ein Sol kann hergestellt werden:
- aus Metallhydroxiden durch Zugabe geringer Mengen von Säuren (Durch Absorption* von H^+-Ionen an den Partikeloberflächen werden Abstoßungskräfte zwischen den Partikelchen aufgebaut, die das Sol stabilisieren.),
- durch teilweise Deanionisierung von Metallnitraten/chloriden in wäßrigen Lösungen mit Hilfe langkettiger organischer Amine,
- durch teilweise thermische Zersetzung von Nitraten,
- durch elektrische Zerstäubung von Metall/Legierungselektroden unter Wasser oder in einem anderen Dispersionsmittel.

Die Überführung in ein Gel kann erfolgen:
- durch Zusammenführung des Sols mit einer nichtmischbaren Lösung zur Erreichung einer Emulsion,
- durch Alkoholtrocknung und Versprühen bei höheren Temperaturen,
- durch Zugabe von organischen Schutzkolloiden und Versprühen bei höheren Temperaturen.

Der S-G-P. wird heute bereits großtechnisch ausgeführt, z. B. zur Herstellung von PZT-Keramik* u. a. Der Vorteil des Verfahrens besteht u. a. auch darin, daß eine Fertigungsstufe eingespart werden kann, da ein Gel bereits der Folien- bzw. Gießformgebung zugänglich ist. [42, 133, 150, 421, 422]

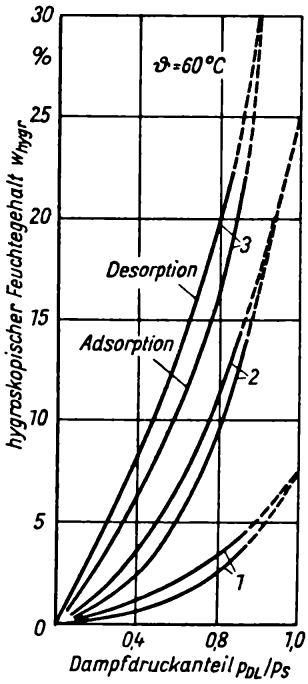
Soliduskurve (lat.: solidus = fest) – *in binären Systemen Verbindung der Temperaturpunkte, bei der eine Schmelze vollständig erstarrt ist.* Die S. gibt die Zusammensetzung der festen Phasen an, die in Abhängigkeit von der Temperatur mit der Schmelze im Gleichgewicht stehen. Sie kann eine gewölbte Kurve (Mischkristalle) oder eine Gerade (binäres System mit Eutektikum) sein. In ternären Systemen wird die S. zur Solidusfläche. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird sie jedoch meist nicht mit dargestellt. In Einstoffsystemen sind S. und Liquiduskurve identisch.
s. Liquiduskurve

Solvatation (lat.: solvere = lösen) – *mit unterschiedlicher Festigkeit erfolgte Anlagerung von Lösungsmittelmolekülen an gelöste Stoffe bzw. an Kolloide.* Die Anlagerung an ein Zentralion ist koordinativ, an Kolloide meist nur adsorptiv.

Sondersteatit – *s.* Steatit

Sonderwerkstoffe – *s.* Reaktorkeramik

Sorptionsisothermen (lat.: sorbere = schlukken; griech.: isos = gleich, thermos = warm) – *Graphiken, die die Sorptionseigenschaften eines zu trocknenden Gutes wiedergeben.* Die Aufnahme von S. gibt Auskunft über die Restfeuchte eines Rohstoffes bzw. einer Masse. Man unterscheidet dabei Adsorption* (Befeuchtung) und Desorption (Entfeuchtung). Im Bild (nach *E. Krause*) ist die Abhängigkeit der hygroskopischen Feuchtigkeit $W_{hygr.}$ vom Dampfdruck p_{DL}/p_S dargestellt (p_{DL}



De- und Adsorptionsisothermen (Sorptionshysteresis) verschiedener Tone *1*; *2*; *3* [143]

= Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft; p_S = Sättigungsdruck des Wasserdampfes). Man erkennt, daß bei gleichen Klimabedingungen die hygroskopischen Feuchtegehalte bei Befeuchtung unter den Werten der Entfeuchtung liegen (sog. Sorptionshysterese).

Die S. lassen sich für jede beliebige Gutstemperatur berechnen, wenn zwei Punkte der S. bekannt sind. [143]

Sorptionskapazität (lat.: sorbere = verschlukken)

1) Allgemein die Gasmenge (Sorbens) in Litern, die 1 g Stoff (Sorbat) zu sorbieren vermag, bzw. das Gasvolumen, bezogen auf Volumen Sorbat; z. B. vermag Zirkon bei Zimmertemperatur das 1 700fache des Eigenvolumens an Luft zu sorbieren.

2) S. oder T-Wert bedeutet die Gesamtmenge an Kationen, die die Tonminerale (Tonkolloide) anzulagern vermögen; Angabe in Milliäquivalent je 100 g trockenen Tons, z. B. beträgt der T-Wert des Kaolinits etwa 10 mval/100 g – nach einer Langzeitmahlung etwa 120 mval/100 g.

Sortierung – *Kontrollen zur Sicherung der Qualität der Erzeugnisse.* Die Qualität eines Erzeugnisses ist das Spiegelbild der Verwendung qualitätsgerechter Rohstoffe und Halbfabrikate, einer ausgereiften Technologie und einer fachgerechten Arbeit, die zu seiner Herstellung aufgewendet wurde. Die Ausscheidung von fehlerhaften Stücken ist von wesentlicher Bedeutung.

S. ist Bestandteil der Kontrolltechnologie, wobei als Basis gewöhnlich Normvorschriften (TGL, DIN) oder Vereinbarungen mit den Abnehmern dienen. Im allgemeinen wird jedes Stück überprüft.

In der Geschirrkeramik wird üblicherweise unterschieden:

1) Weißsortierung

Hierbei werden die einzelnen Stücke in Sortiergruppen eingeteilt und unbrauchbare Stücke ausgeschieden.

2) Dekorsortierung

Sie dient der Auswahl von Waren für bestimmte Dekore bzw. dem Heraussuchen von Stücken, deren Fehler durch nachfolgende Dekorationen überdeckt werden können.

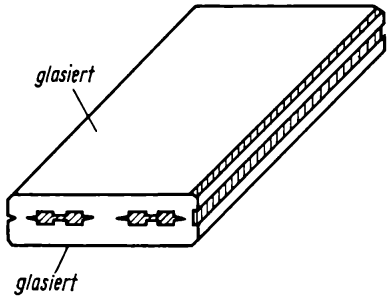
Dekorsortierung und Weißsortierung können miteinander verbunden sein, aber auch nacheinander erfolgen.

3) Endsortierung

Sie erfolgt nach dem Dekorbrand. Neben der Kontrolle auf Dekorationsfehler erfolgt dann die Einordnung der Fertigwaren in die einzelnen Güteklassen.

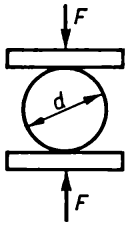
Spalling – *Verschleißen von Gewölbesteinen durch mechanisches Abplatzen infolge von Wärmespannungen.* Wird dieser Vorgang noch durch chemische Einwirkungen des Ofenstaubes (Infiltrationen) unterstützt, spricht man von *chemical spalling* oder *structural spalling.*

Spaltplatten – *glasierte, dichte keramische Bauelemente auf der Basis von Steinzeug- oder Porzellanmassen zur Außenverkleidung von Bauten und Innenverkleidung von Säurebauten, zur Wandverkleidung von Molkereien, Bädern usw.* Die Massen werden auf Strangpressen mit einem Profil versehen (s. Bild S. 426), das zwei glatte Oberflächen für die Glasur und in der Mitte schwalbenschwanzartige Aussparungen hat, die das spätere Trennen ermöglichen sollen. Zum Verarbeiten werden die gebrannten Stücke mit einem mäßigen Schlag auf die Frontseite getrennt.



Spaltplatten: Ober- und Unterseite sind glasiert; nach dem Trennen liegen zwei glasierte Platten vor

Spaltzugfestigkeitsprüfung (Diametraldruckprüfung, Brasiltest) – *eine Festigkeitsprüfung, bei der die Prüfkörper, die in den Durchmesserflächen geschliffen sein müssen, zwischen zwei ebenen Platten liegend einer Druckkraft ausgesetzt werden* (s. Bild).



Spaltzugfestigkeitsprüfung

Bei dieser Belastungsart ergibt sich eine komplizierte mehrachsige Spannungsverteilung im Prüfling; der Bruch erfolgt in der Art einer Spaltung. In der Spaltebene herrscht quer zur Belastungsrichtung eine Zugspannung der Größe

$$\sigma_z = 2F/\pi\, d\, h$$

F Druckkraft
d Durchmesser
h Länge des Stabes,

die für die Einleitung des Bruches verantwortlich gemacht wird.
Die S. ist im Prinzip eine Bestimmung der Zugfestigkeit, entsprechend liegen die Festigkeitswerte in der Größenordnung der Zugfestigkeit. Die S. wird besonders bei feuerfesten Baustoffen angewendet, wenn es notwendig ist, aus größeren Erzeugnissen Proben zu entnehmen und festigkeitsmäßig zu untersuchen. [94, 505]

Spannkeramikziegel – *Klinker*-Hohlziegel, die zur Aufnahme von Spanndraht mit Rillen versehen sind* (Bild 1).

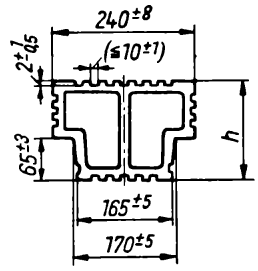


Bild 1. Spannkeramikdeckenziegel (SDz 300)

S. werden in sog. Spannbretter mit vorgespannten Stählen eingelegt und zur Verfestigung mit Beton vergossen. Diese Spannbretter bilden die tragenden Elemente von Spannkeramikdecken (Bild 2),

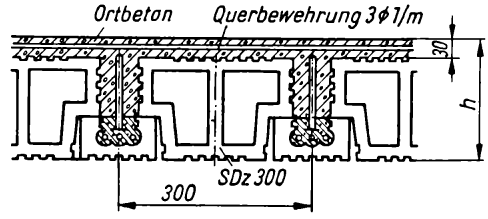


Bild 2. Spannkeramikdecke

die vorwiegend in der traditionellen Ziegelbauweise eingesetzt werden. [157, TGL 22 823]

Spannung, elektrische – *s.* Prüfspannung

Spannungen, magnetische – Produkt aus der magnetischen Feldstärke H und dem Abstand zwischen zwei Punkten im homogenen magnetischen Feld:

$$V = \int_A^B H\,\mathrm{d}V \quad \text{(in A)}.$$

Spannung, mechanische – *Ausdruck zur makroskopischen Beschreibung der in Körpern (Volumen) und auf Oberflächen wirkenden kurzreichweitigen Kräfte.* In der Festigkeitslehre, die die Haltbarkeit von Bauelementen aus Beanspruchungsart und Verteilung der m. S. ermittelt, wird unterschieden in:

1) Normalspannung als die senkrecht (normal) zum beanspruchten Querschnitt angreifenden Zug-, Druck-, Knick- und Biegespannungen und

2) Tangential- oder Schubspannung als tangential zum Querschnitt angreifende Verdrehspannung.

Greift eine Kraft nicht rechtwinklig zum Querschnitt an, so setzt sie sich aus Normal- und Tangentialspannung zusammen. Der rechnerisch als Quotient von äußerer Einwirkung (Kraft) und Querschnittsgröße ermittelte Wert wird als *Nennspannung* in MPa bezeichnet. Die Spannung, bei der ein Körper zu Bruch geht, wird *Bruchspannung* genannt, und die Spannung, bis zu der ein Körper belastet werden darf, *zulässige Spannung.*

Bei der Herstellung keramischer Werkstücke treten in den verschiedenen Produktionsstufen und auch beim späteren Einsatz im Gefüge m. S. auf, die bei Überschreitung der Festigkeit zum Ausfall des Stücks führen. Sie lassen sich im wesentlichen auf folgende Ursachen zurückführen, wobei zwischen den einzelnen Gruppen Wechselbeziehungen bestehen können:

1) Gründe, die mit der Erwärmung/Abkühlung zusammenhängen, wie

- unterschiedliche thermische Ausdehnung der einen Scherben aufbauenden Phasen (einschließlich Glasur/Scherben-Beziehung),
- Modifikationsänderungen,
- ungleichmäßige Wärmeleitung bzw. Auftreten eines thermischen Gradienten bei größeren Stücken und Bauwerken (Öfen, Wannen, Schmelzaggregate usw.),
- ungleichmäßige Trocknungsvorgänge in Rohlingen und porösen Werkstoffen.

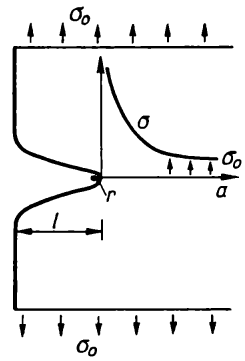
2) Gründe, die mit der Verformung im Zusammenhang stehen, wie

- starke mechanische Kräfte beim Pressen (z. B. Hochenergieverformung) deformieren einzelne Phasen stärker, was sich in unregelmäßigen Gleitungen äußert,
- Ausrichten bestimmter Phasen (Anisotropieerscheinungen) beim Verformen durch Einnehmen energetisch günstiger Lagen, z. B. Ausrichten der plättchenförmigen Tonminerale,
- mechanische Beanspruchung der keramischen Werkstoffe (z. B. Zug bei Langstabisolatoren),
- Magneto- und Elektrostriktion u. ä.

3) Gründe, die mit Korrosionsvorgängen bzw. Kristallisationserscheinungen zusammenhängen, wie

- Auskristallisieren von Salzen, die im Porensystem von Ziegeln u. a. vom Grundwasser mitgeführt werden,
- Wasserdehnung bei porösen Werkstoffen, einschließlich Frost/Tauwechsel,
- durch aggressive Medien, Metallschmelzen, Glasschmelzen u. a. ausgelöste Lösungsvorgänge.

Spannungsintensitätsfaktor (K_I) – *Maß der Spannungskonzentration im Umfeld einer Rißspitze in einem Festkörper in MN m$^{-3/2}$ bzw. MPa m$^{1/2}$* (d. h., K_I sagt aus, bei welcher Spannung σ ein Riß der Länge l sich erweitern wird, s. Bild).



Spannungskonzentration und Spannungsverlauf an Kerben bei Zugbelastung σ_0

Der S. hängt ab von der Belastung, den Proben- bzw. Bauteilabmessungen und vom Rißmodell. Er wird deshalb mit einem Index versehen, der sich auf die Orientierung des Anrisses bezieht.

Die Bruchmechanik* unterscheidet die Fälle Mode *I* = einfache Rißöffnung (wie im Bild dargestellt), Mode *II* = Längsscherriß und Mode *III* = Querscherriß. Mode *I* ist der gefährlichste Fall, auf den sich die meisten Untersuchungen beziehen, danach wird definiert:

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi\, l}\; y$$

K_I Spannungsintensitätsfaktor Mode *I*
σ_0 von außen angelegte Spannung
l Länge des Anrisses
y Faktor, der sich aus der Geometrie des Anrisses und der Probe ergibt.

Für den Krümmungsradius ϱ an der Rißspitze wird bei dieser Betrachtung der Grenzwert $\varrho = 0$, d. h. der ideal spitzauslaufende Riß, verwendet.

Nach den Ergebnissen der Bruchmechanik wird das Eintreten des instabilen Rißwachstums durch den kritischen Wert K_{Ic} charakterisiert, d. h., die Größe K_{Ic} stellt eine Festigkeitskenngröße des

Werkstoffes dar, und zwar als Widerstand, den der Werkstoff der Ausbreitung eines vorhandenen scharfen Anrisses entgegenstellt. Obwohl K_{Ic} statistischen Streuungen unterworfen ist, stellt diese Kenngröße eine echte Werkstoffkonstante dar, die z. B. keinem Volumeneffekt unterliegt (s. Tabelle). Für die Bestimmung des K_{Ic}-Wertes gibt es gegenwärtig noch keinen Standard; eine Möglichkeit besteht in der Messung der Biegebruchkraft gekerbter Biegestäbe bei Einhaltung bestimmter geometrischer Verhältnisse. Als Größenordnung für den maximal zulässigen Kerbradius kann $\varrho_{max} = 0{,}1$ mm angenommen werden.

Spannungsintensitätsfaktor K_{Ic} einiger keramischer Werkstoffe

Werkstoff	K_{Ic} in MPa m$^{1/2}$
Al_2O_3-Monokristall	1,6
Al_2O_3-Polykristall	
feinkörnig	3,85
grobkörnig	5,4
Porzellan	>1,25
Si_3N_4 (heißverdichtet)	8,0
SiAlON	2,5 bis 4,0
SiAlON mit ZrO_2 (umwandlungsverstärkt)	8,5

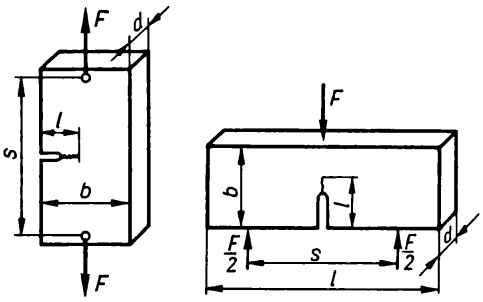
Der S. und die klassischen Festigkeitskennwerte, wie z. B. die Biegefestigkeit, sind nicht direkt miteinander vergleichbar. [43, 94, 150, 259, 260, 397]

s. Trennfestigkeit, theoretische

Spannungsintensitätsfaktor, experimentelle Bestimmung – zur experimentellen Bestimmung der K_I-Werte ist eine größere Anzahl an Prüfverfahren entwickelt worden, die sich vor allem hinsichtlich Belastungsart, Probengeometrie und Größe unterscheiden. Nachfolgend werden einige Probenformen nach [43] angeführt. Bei der Angabe der Mindestabmessungen wird der Ausdruck $\left(\frac{K_I}{\sigma_s}\right)^2 = C$ verwendet (σ_s = Nennspannung).

Neben der entsprechenden Bestimmungsgleichung für K_I wird eine Beziehung zur Abschätzung der erforderlichen Prüfkraft $F_{erf.}$ angegeben, die eine Anpassung der Prüfmethode an die zur Verfügung stehende Prüfmaschine erleichtert (s. Bilder 1 bis 3); weitere Probenformen in der Literaturstelle [259].

Das Einbringen des scharfen Anrisses kann u. a. mit einer sehr feinen Diamantsäge ausgeführt werden.



Einseitig gekerbte Probe

Bestimmungsgleichung	Abmessungen	Prüflast
$K_I = \frac{F\,l^{1/2}}{b\,d}\left[1{,}99 - 0{,}41\left(\frac{l}{b}\right) + 18{,}7\left(\frac{l}{b}\right)^2 - 38{,}48\left(\frac{l}{b}\right)^3 + 53{,}85\left(\frac{l}{b}\right)^4\right]$ für $0 \leqq \frac{l}{b} = 0{,}6$	$l \geqq 2{,}5\,c$ $d \geqq 2{,}5\,c$ $b \geqq 5\,c$ $s \geqq 3\,b_{min}$	$F_{erf} \geqq 1{,}6\,\sigma_s\,c^2$

Bemerkung: Im Bereich $0 \leqq \frac{l}{b} \leqq 0{,}6$ ergibt sich K_I mit einer Genauigkeit von 0,41.

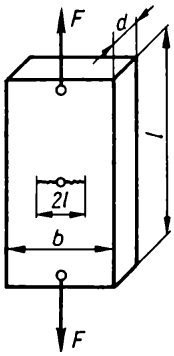
Vorteile dieser Probenform sind der geringe Materialaufwand, die einfache Herstellung von Probe und Anfangsriß und die niedrige Prüflast.

Dreipunkt-Biegeprobe

Bestimmungsgleichung	Abmessungen	Prüflast
$K_I = \frac{F\,s}{d\,b^{3/2}}\left[2{,}9\left(\frac{l}{b}\right)^{1/2} - 4{,}6\left(\frac{l}{b}\right)^{3/2} + 21{,}8\left(\frac{l}{b}\right)^{5/2} - 37{,}6\left(\frac{l}{b}\right)^{7/2} + 38{,}7\left(\frac{l}{b}\right)^{9/2}\right]$	$l \geqq 2{,}5\,c$ $d \geqq 2{,}5\,c$ $b \geqq 5\,c$ $s \geqq 4\,b$ $L \geqq 5\,b_{min}$	$F_{erf.} \geqq 0{,}33\,\sigma_s\,c^2$

Bemerkung: Außer der noch geringeren erforderlichen Prüflast sind die gleichen Vorteile wie bei der einseitig

gekerbten Zugprobe zu nennen. Einschränkungen werden bezüglich der Genauigkeit bei der K_I-Bestimmung gemacht.



Probe mit Mittelriß

Bestimmungsgleichung	Abmessungen	Prüflast
$K_I = \frac{F\,l^{1/2}}{b\,d}\left[1{,}77\left\{1 - 0{,}2\left(\frac{l}{b}\right) + 4\left(\frac{l}{b}\right)^2\right\}\right]$ für $0 \leqq \frac{l}{b} \leqq 0{,}3$	Rißlänge $l \geqq 2{,}5\,c$ Dicke $d \geqq 2{,}5\,c$ Breite $b \geqq 10\,c$ Länge $L \geqq 4\,b_{min}$	$F_{erf.} \geqq 7{,}5\,\sigma_s\,c^2$

Bemerkung: Im Bereich $0 \leqq \frac{2l}{b} \leqq 0{,}7$ ergibt sich K_I mit einer Genauigkeit von 0,51. Diese Probenform ist besonders für K_c-Messungen geeignet. Hoher Materialaufwand, die Größe der erforderlichen Last und Schwierigkeiten bei der gleichmäßigen Vorkerbung sind die Nachteile.

Spannungsprüfung – *Verfahren zur Feststellung mechanischer Spannungen im keramischen Werkstück.* S. haben das Ziel, ggf. Veränderungen in der Technologie auszulösen oder Aussagen in dem Verhalten des Werkstückes beim späteren Einsatz zu ermöglichen.
s. Glasurprüfungen, Schallemissionsanalyse.

Spannungsrißkorrosion – *eine Form der Korrosion*, die im Kerbgrund eines Anrisses in einem dynamisch – zunächst unterkritisch – dauerbelasteten Werkstoff in feuchter Atmosphäre abläuft und für ein vorzeitiges Versagen des Werkstoffes verantwortlich gemacht wird.*
Die Theorie der sog. thermisch aktivierten S. nach *Charles* und *Hillig* geht davon aus, daß der zum Bruch führende Rißerweiterungsprozeß in einer langsamen Ausdehnung der Mikrokerbe besteht, hervorgerufen durch den korrodierenden Einfluß des Wassers. Dadurch wird die sonst zum Bruch erforderliche Nennspannung abgebaut, d. h., die reale Festigkeit des Werkstoffes sinkt.
Die Bruchmechanik beweist, daß die thermisch aktivierte S. nicht allein an die Existenz ausgeprägter Mikrorisse an der Oberfläche gebunden ist, sondern daß auch bei Brucherscheinungen durch Eigenspannungen im Werkstoff allgemein die Bruchgeschwindigkeit von der Luftfeuchtigkeit beeinflußt wird. [43, 359]
s. Rebinder-Effekt

Speckstein – *s.* Talk

Spektralanalyse (lat.: specare = spähen) – *Auswertung von Spektren* mit dem Ziel, Aussagen über die qualitativen und quantitativen Zusammensetzungen fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe zu erhalten.* Die Spektren werden dabei in Emission oder Absorption beobachtet.
Im engeren Sinne bezieht man den Begriff S. auf die *Emissionsspektralanalyse.* Die zu untersuchende Substanz wird durch Energiezufuhr als atomares Gas zu Lichtaussendung angeregt. Das emittierte Licht wird in Prismen- oder Gittermonochromatoren in ein Emissionsspektrum zerlegt und dann visuell, fotographisch oder fotoelektrisch in bezug auf Wellenlänge und Intensität der Spektrallinien ausgewertet.
Emissionsspektralanalysen erfüllen in hohem Maße die Anforderungen an Schnellanalysen. Zu diesem Zwecke wurden Geräte entwickelt, mit denen die Spektren mehrerer Elemente gleichzeitig aufgenommen und mit Hilfe von Sekundärelektronenvervielfachern analysiert werden. Die S. ist kein zerstörungsfreies Prüfverfahren. Bei neueren mikroanalytischen Verfahren, die mit Laser* arbeiten, verdampfen nur wenige µg. Die Tabelle (S. 430) gibt einige Nachweisgrenzen an.
s. Auger-Spektroskopie, Atomabsorptionsanalyse, Röntgenfluroeszenzanalyse

Spektrum (lat.: spektrum = Bild)
1) Im engeren Sinne die Intensität eines Gemisches elektromagnetischer Wellen als Funktion der Frequenz, wobei im optischen S. folgende Bezeichnungen üblich sind:
- Vakuumultraviolett-Bereich – Strahlungen im Wellenlängenbereich von 1 bis 200 nm,
- Ultraviolett-Bereich – Strahlungen im Wellenlängenbereich von 200 bis 380 nm,

Spektralanalytische Nachweisgrenzen einiger Elemente

Element	µg ml^{-1}	Element	µg ml^{-1}	Element	µg ml^{-1}
Al	0,002	Gd	0,01	Rb	0,0001
Ba	0,0002	Ge	0,5	Ru	0,02
Ca	0,0001	Ho	0,02	Sc	0,03
Cr	0,002	In	0,0005	Sm	0,2
Dy	0,07	K	0,0005	Sr	0,0001
Eu	0,0002	Li	0,00003	Ti	0,03
Ga	0,01	Na	0,001	Yb	0,0003

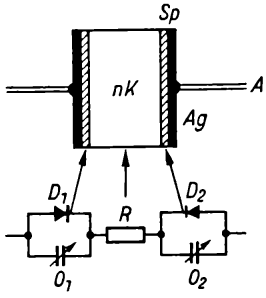
- sichtbarer Bereich – Strahlungen im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm
- Infrarot-Bereich – Strahlungen im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm.

2) Im weiteren Sinne bezeichnet man mit S. eine Intensitätsverteilung in Abhängigkeit von der Frequenz, der Energie, der Masse (Körnung), dem Impuls einer magnetischen Größe, als Frequenz-, Massen-(Körnungs-), Impulsspektrum usw.

Sperrschicht – *Umgebungsbereich eines Übergangs zwischen einem Halbleiter und einem Metall oder an einem pn-Übergang,* der beim Anlegen einer äußeren Spannung bestimmter Polarität (in Sperrrichtung) von Ladungsträgern weitgehend entblößt werden kann und dann einen erhöhten Widerstand aufweist.

Sperrschichtkondensatoren – *keramische Kondensatoren mit hohen Kapazitätswerten für niederige Spannungen von einer scheinbaren Dielektrizitätskonstante von 50 000 bis 100 000.*

Bei den S. handelt es sich um keramische Kondensatoren mit Halbleitereigenschaften und einer sehr dünnen Sperrschicht* als eigentliches Dielektrikum (s. Bild).



Schematischer Aufbau eines Sperrschichtkondensators mit Ersatzschaltbild

A	Anschlüsse
Ag	Silberelektroden
Sp	Sperrschicht
DK	Dielektrikum
$D_{1,2}$	Dioden
R	Widerstand
$O_{1,2}$	veränderliche Kapazität

Die Technologie des S. besteht in einer Reduktion des $BaTiO_3$-Dielektrikums und nachfolgender Reoxydation der Oberfläche. Der S. kann danach als ein Halbleiter aufgefaßt werden, der aus drei aufeinanderfolgenden Zonen besteht: die mittlere Zone ist ein *n*-Halbleiter, die beiden äußeren Zonen sind *p*-Halbleiter, *i*-Halbleiter (i = intrinsisch*) oder Metall. [174]

Spiegel

1) Die vertiefte Mittelfläche der Gebrauchsseite eines Flachgeschirrs (Teller, Schale), die von der Fahne umgeben wird.

2) Die glatte, glänzende Bruchfläche des Scherbens (im Gegensatz zur zerfurchten Bruchfläche), die Rückschlüsse auf die mechanische Festigkeit des Stückes erlaubt.

3) Oberhalb der Arbeitsbühne befindliche außenseitige Wandpartien der Gas- und Luftschächte von Stahlschmelzöfen; da die Abgase auf dem Wege in die Schlackenkammern an diesen Stellen umgelenkt werden, sind diese hohen Beanspruchungen ausgesetzt.

Spinellfarbkörper – *synthetisch gewonnene keramische Farbkörper*, die ihrer Struktur nach zur Spinellgruppe* gehören* und sich gegenüber dem lösenden Angriff der Glasur* im Brande relativ stabil verhalten. Eine Aufstellung der wichtigsten S. enthält die folgende Tabelle.

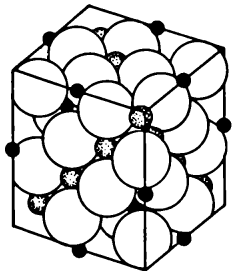
Zur Synthetisierung werden die feindispersen Komponenten innig gemischt. Die erforderlichen Festkörperreaktionen* laufen bei Anwesenheit von Mineralisatoren* als entgegengesetzte Kationendiffusionen (sog. *Wagner*-Mechanismus) bei Temperaturen von 1 300 bis 1 400 °C ab; die umgebende Atmosphäre hat dabei wesentlichen Einfluß auf die Tönungen der Farben. [336, 405, 507]

Spinellgruppe – *eine nach dem kubisch kristallisierenden edlen Spinell $MgAl_2O_4$* (meist farblos, durch diadochen Einbau von färbenden Metallionen verschiedenfarbig; $H = 8$; $D = 3{,}548$ g cm^{-3}; $n = 1{,}720$) *benannte umfangreiche Gruppe besonders widerstandsfähiger Mineralien und synthetischer Produkte der allgemeinen Formel $A^{2+}B_2^{3+}O_4$.* Die häufigsten Kationen sind: A^{2+} = Mg^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Ni^{2+} und B^{3+} = Al^{3+}, Ga^{3+},

Übersicht der Farbkörper mit Spinellgitter

A^{2+}	B^{3+}		
	Fe	Cr	Al
Fe	Fe_3O_4 (Magnetit) orange bis violett für niedrige Temperaturen	$FeCr_2O_4$ (Chromit) schwarz mit Grünstich	$FeAl_2O_4$ (Hercynit) hellbraun
Mn	$MnFe_2O_4$ (Jakobsit) braun	$MnCr_2O_4$ (synth.) braun	$MnAl_2O_4$ (Galaxit) braun
Zn	$ZnFe_2O_4$ (Franklinit) rotbraun	$ZnCr_2O_4$ (synth.) grünbraun	$(Zn, Co)Al_2O_4$ (synth.) blau
		$Zn(Fe, Cr)_2O_4$ (synth.) braun	
Co	$(Co, Mn)(Fe, Cr)_2O_4$ (synth.) schwarz $(Co, Ni)(Fe, Cr)_2O_4$ schwarz	$Co(Cr, Al)_2O_4$ (synth.) grün (synth.)	$CoAl_2O_4$ (synth.) Thenards Blau
Ni	$NiFe_2O_4$ (Trevorit) schwarzbraun	$NiCr_2O_4$ (synth.) grün	

Cr^{3+}, Fe^{3+}, Co^{3+}; für A^{2+} kann auch Ti^{4+} eintreten, wenn B zweiwertig ist, oder Mo^{6+}, wenn B einwertig ist ($MoAg_2O_4$). Statt O kann in Sulfospinellen S, ferner (CN) vorkommen. Die Elementarzelle im Spinellgitter umfaßt 8 Formeleinheiten; sie läßt sich als eine nahezu kubisch-dichteste Kugelpakkung von 32 Sauerstoffionen mit einer Kantenlänge von 0,80 bis 0,85 nm beschreiben (s. Bild). In den kristallographisch ungleichwertigen Tetraedern ($KZ = 4$) und Oktaederlücken ($KZ = 6$) werden die 8 A^{2+} und die 16 B^{3+} untergebracht. Bei edlem Spinell nehmen die 8 A^{2+} die Tetraeder- und die 16 B^{3+} die Oktaederlücken ein. Von *Barth, Posnjak* u. a. als normaler Spinell bezeichnet, im Gegensatz zum sog. inversen Spinell, bei dem die Tetraederlücken von 8 B^{3+} und die Oktaederlükken von 8 A^{2+} und 8 B^{3+} eingenommen werden. Da sich die Kationen weitgehend ersetzen können, sind Übergänge vorhanden. Aus diesen Umbesetzungen resultieren Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit, der magnetischen Momente u. a. Nach *Verwey* u. a. bevorzugen Zn^{2+}, Cd^{2+}, Ga^{3+}, In^{3+} Tetraederlücken und Ni^{2+}, Cr^{3+}, Ti^{4+}, Sn^{4+} Oktaederlücken, während sich Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+} indifferent verhalten. Bemerkenswert ist die vollständige Mischbarkeit von Spinell und γ-Al_2O_3, das stöchiometrisch nicht dem Formeltyp entspricht. Da die Sauerstoffanordnung erhalten bleibt, statt der 24 Kationen je Zelle nur $21\frac{1}{3}$ zur Verfügung stehen, bleiben $2\frac{2}{3}$ Kationenplätze frei. Treten solche Kationen wie Ba^{2+}, Pb^{2+}, Sr^{2+} mit Ionenradien >0,1 nm ins Spinellgitter, so entartet es zur Hexagonalität.



Spinellgitter nach *Machatschi, Barth* und *Posnjak*

○ O_2-Ionen
⊙ Metallionen auf Oktaederplätzen
● Metallionen auf Tetraederplätzen

Die bekanntesten technischen Spinelle sind die Ferrite* und die Spinellfarbkörper*. Eine gewisse Verwandtschaft zum Spinelltyp zeigt auch der Olivin (Mg_2SiO_4) und mit dem gleichen Gitter der Chrysoberyll ($BeAl_2O_4$) und $BeNa_2F_4$.

Spiralwachstum – *eine besondere Art des Kristallwachstums,* wobei sich die neuen Bausteine an den Versetzungen (eindimensionale Fehler) des Kristalls anlagern. Makroskopisch manchmal an den Wachstumsspiralen auf den Kristalloberflächen zu erkennen, häufig bei SiC zu beobachten.

Spitzenfiguren – *Porzellanfiguren, deren Kleidung mit Spitzen besetzt ist, bzw. Figuren, die in Spitzen gehüllt sind.* S. werden entweder als Einzelfiguren (z. B. Tänzerinnen) oder im Ensemble meist in der Kleidung der Mode des 18. Jahrhunderts hergestellt. Dazu wird textile Spitze in eine mit Klebstoffen versetzte Glasursuspension getaucht bzw. mit der Glasursuspension überstrichen, in Falten gelegt und an die entsprechenden Stellen der geglühten und glasierten Figur angesetzt und getrocknet. Im nachfolgenden Glattbrand verbrennen die Spitze und der Klebstoff, die keramische Substanz wird hart.

Spodumen ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$)

1) Tiefspodumen oder β-$LiAl[Si_2O_6]$

Kristallographie: monoklin

Physikalische Eigenschaften: farblos;

$D = 3{,}15\ g\ cm^{-3}$; $H = 6{,}5$ bis 7; n (synthetischen Sp.) $\approx 1{,}72$. Tiefsp. geht zwischen 700 und 850 °C über in

2) Hochspodumen oder α-$LiAl[Si_2O_6]$.

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: $n \approx 1{,}52$;

zeichnet sich durch kleinen thermischen Ak. aus. *Verwendung:* Rohstoff für Werkstoffe mit kleinem Ak., bzw. seine Bildung wird in diesen Werkstoffen angestrebt, wenn Li_2O in anderer Form in den Versatz eingeführt wird.

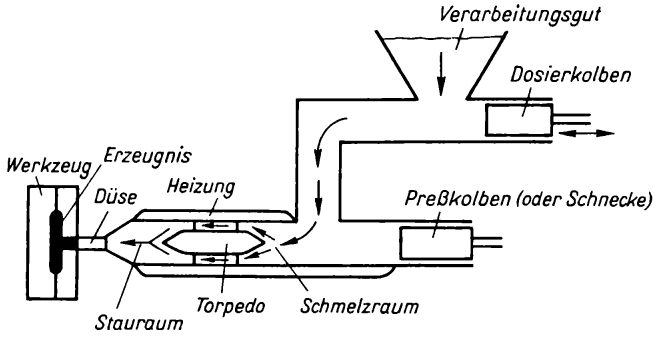
Spritzfarbe – *eine Suspension feingemahlener Aufglasurfarbe (Terpentinöl und Spritzlack), die mit Hilfe von Spritzpistolen bei 0,1 bis 0,3 MPa Überdruck auf die Oberfläche des keramischen Gegenstandes aufgestäubt wird.* Die Intensität der Farbe wird durch Spritzdauer und Abstand der Spritzpistole reguliert. Durch Zusätze von Balsam wird die Griffestigkeit und durch Zusätze von Spritzlack die Haftfestigkeit erhöht. S. können durch Methylenchlorid verdünnt werden.

Spritzgießen – *ein bei unbildsamen, feinkörnigen keramischen Massen angewandtes Formgebungsverfahren,* bei dem dem Pulver* organische Binder zugesetzt werden. Diese Bindemittel verleihen der Masse bei einer Verarbeitungstemperatur von 80 bis 200 °C eine niedrige Viskosität, so daß ein Einspritzen der teigigen Masse durch eine Düse in ein Formgebungswerkzeug möglich wird.

Das Bild zeigt das Schema einer Spritzgießmaschine. Das Verarbeitungsgut wird portioniert in den Schmelzraum gebracht. Im Schmelzraum befindet sich ein Torpedo, der die Masse an die Wandungen preßt, um den Ausschmelzprozeß und die Homogenisierung zu verbessern. Durch einen Preßkolben wird die aufgeschmolzene Masse in das Werkzeug gepreßt, dort kühlt sie ab und wird nach einer bestimmten Zeit durch Öffnen des Werkzeuges als Formling ausgestoßen.

S. kann im Hochdruckverfahren (Arbeitsdruck 80 bis 150 MPa) oder im Niederdruckverfahren (Arbeitsdruck 0,5 bis 10 MPa) ausgeführt werden; für das letztere ist auch die Bezeichnung *Heißgießen* üblich.

Für die Verarbeitung feindisperser Tonerde (Korngrößen $< 1\ \mu m$) wird z. B. folgende Bindemittelzusammensetzung angeführt: Polyvinylacetat 25 %,



Schema einer Spritzgießmaschine

Polystyrol 30 %, Polyglykol 30 %, Stearinsäure 10 % und Phthalate 5 %.
Das Austreiben der Bindemittel bedarf einiger Vorsichtsmaßnahmen, um Deformationen des Formlings zu vermeiden. Das Bindemittel muß in einem breiten Temperaturbereich (etwa 50 bis 400 °C) entweichen; zweckmäßig werden dabei die Formlinge in Pulver (MgO, Al_2O_3) eingebettet, oder es wird Vakuum angewendet, um die Binder zu verdampfen und nicht zu verflüssigen.
S. eignet sich besonders zur Herstellung von Kleinteilen komplizierter Geometrie und geringer Wandstärken (bis 0,3 mm). Die Rohlinge weisen eine gute Kantenstabilität und gute Oberflächenqualität sowie eine hohe Grünlingsdichte auf. [123]

Spritzlack – *auf in Terpentinöl gelösten Harzen (z. B. Kolophonium u. a.) basierender Zusatz zu Spritzfarben.* S. erhöht die Geschmeidigkeit und Haftfestigkeit der ungebrannten Farben.

Spritzverfahren – *auf der Verwendung von Druckluft basierendes Verfahren zum Aufbringen keramischer Farben bzw. von Spritzmassen.*
1) Aufspritzen von Glasuren oder Farbsuspensionen – sog. Spritzfarben – mit Hilfe von *Zerstäuberpistolen.* Das Aufspritzen geschieht zweckmäßig unter Absaugvorrichtungen; beim Zerstäuben von gesundheitsschädlichen Suspensionen ist die Verwendung von Abzugshauben aus Gründen des Gesundheitsschutzes unbedingt erforderlich. Beim Auftragen von Spritzfarben lassen sich bestimmte dekorative Effekte, wie verlaufende Farbübergänge u. a., erzielen; auszusparende Flächen werden mit Schablone oder durch eine Abdeckmasse (Schlämmkreide und Glyzerin u. a.) freigehalten.
2) Aufbringen von Anstrich- oder Spritzmassen zur Verlängerung der Lebensdauer feuerfester Mauerwerke mit Hilfe von *Spritzpistolen oder Torkretiergeräten* auf beschädigte Stellen heißer Öfen. Während bei Torkretiergeräten trockene oder nur schwach angefeuchtete Masse in den Druckbehälter gegeben wird, arbeiten andere Verfahren mit dünnflüssigem Schlicker. Um eine gute Versinterung zu erreichen, dürfen die Massen nur in dünnen Schichten und die aufeinanderfolgenden Lagen erst in bestimmten Zeitabständen aufgetragen werden.

Sprödigkeit – *Eigenschaft der anorganisch-nichtmetallischen Werkstoffe, unmittelbar nach Erreichen der Elastizitätsgrenze zu zerbrechen, ohne daß eine erkennbare Verformung vorausgegangen ist.* Sie hat ihre Ursache in der Unbeweglichkeit von Versetzungen*, im Fehlen plastischer Umlagerungen und wirksamer Rißbarrieren. Als Maß der S. kann der in der Bruchmechanik* gebräuchliche Spannungsintensitätsfaktor K_{Ic} herangezogen werden, der für Konstruktionskeramik* im Bereich 1 bis 10 MN $m^{-3/2}$, für Gußeisen bei 10 bis 20 MN $m^{-3/2}$ und für Stahl bei >100 MN $m^{-3/2}$ liegt. In grober Abschätzung zeigen alle Stoffe mit einer *Mohs*schen Härte >6 sprödes Verhalten, das bei erhöhten Temperaturen in plastisches übergeht; umgekehrt verhalten sich alle Stoffe bei genügender Tiefkühlung spröde. [144, 221]

Sprühröstverfahren (+Spray-Technik) – *thermochemisches Verfahren zur Feinstpulverherstellung durch Einsprühen von Lösungen mit Rohstoffkomponenten bzw. von Solen in einen heißen Reaktionsraum.* Durch geeignete Steuerungen können in den anfallenden Pulvern im Reaktionsraum verschiedene physikalische und chemische Reaktionen, wie Calcinationen, Dissoziationen, Neubildungen u. a., ablaufen. Das Verfahren ist durch ein einheitliches Feinstkorn von 0,01 bis 0,1 µm charakterisiert.
Anwendung: Ferritherstellung. (S. ist nicht identisch mit Zerstäubungstrocknung* von Suspensionen.) [514]

Sprühtrocknung (Zerstäubungstrocknung) – Kurzzeittrocknung von Suspensionen*/Masseschlickern durch Zerstäubung mittels Düse oder Zerstäuberrades in einem Sprühturm durch Heißluft im Gleichstrom- oder Gegenstromverfahren. Die S. findet gegenwärtig breiteste Anwendung zur Gewinnung eines Granulats zum Trocken- bzw. isostatischen Pressen.
Die S. beinhaltet folgende grundsätzliche Verfahrensschritte:
- Zuführen der Suspension aus einem Vorratsbehälter zum Trockner,
- Zerstäuben des Suspensionsstromes durch Zentrifugal- und Schwerkraft oder durch Verdüsen,
- Trocknung der Suspensionströpfchen und Granulatbildung durch gleichzeitig eingeblasene Heißluft (Eintrittstemperatur etwa 500 °C),
- Austragen des Sprühgranulats am konischen Ende des Sprühtrockners (besitzt Zyklonwirkung),
- Absaugung der Trockenluft ins Freie (Zwi-

schenschaltung eines Zyklons zur Feinstkornrückgewinnung bzw. Entstaubung; Ablufttemperatur je nach Anordnung der Meßstelle 160 bis 100 °C).

Je nach Zerstäubungsprinzip unterscheidet man:

1) Zentrifugalzerstäubung (s. Bild 1)

Die Suspension wird oben mittig zugeführt und durch ein schnellrotierendes Zerstäuberrad (5 000 bis 20 000 min^{-1}) – auch »Scheibe« oder »Teller« genannt – zerstäubt. Trockengut und Trocknungsluft bewegen sich prinzipiell in gleicher Richtung (Gleichstromprinzip; Tabelle 1).

Tabelle 1. Typische Granulatgrößenverteilung bei Zentrifugalzerstäubung

Granulatgröße in µm	Anteil in %
>120	25
60...120	55
<60	20

2) Düsenzerstäubung (s. Bild 2, S. 435)

Die Suspension wird im unteren, konischen Teil des Trocknungsturmes zugeführt. Die Zerstäubung erfolgt entweder mit Hilfe einer Einstoffdüse – auch »Druckdüse« genannt – und einem in der Düse befindlichen Drallkörper (geschlitzte Lochscheibe) durch die Wirkung des Druckes einer Förderpumpe oder mit Hilfe einer Zweistoffdüse mittels zusätzlich herangeführter Druckluft (Tabelle 2).

Tabelle 2. Beispiele für Granulate bei Düsenzerstäubung

Granulatgröße in µm	Anteile in %		
>500	5	–	–
250...500	65	5	15
120...250	25	70	40
60...120	5	23	40
<60	–	2	5

Zusammenfassend wird eingeschätzt, daß bei Anlagen vergleichbarer Größe durch Düsenzerstäubung grobkörnigere Granulate mit breiterem Körnungsband erhalten werden als bei Zentrifugalzerstäubung; charakteristisch für Sprühtrockner mit Zweistoffdüse ist ein relativ hoher Feinstkornanteil.

Der Wärmebedarf von S. bewegt sich zwischen 2,9 bis etwa 5,0 MJ kg^{-1} verdampftes Wasser. Die Restfeuchte des Granulats kann entsprechend der Führung der S. von etwa 5 bis 0,2 % variiert werden. [123, 534]

Sputtern (Katodenzerstäubung, Ionenstrahlzerstäubung) – *Abtragen von Atomen bzw. Atomgruppen aus der Oberfläche eines Festkörpers* durch Ionenbeschuß* zum Zwecke

- des Reinigens von Festkörperoberflächen und
- der Überführung von Auftragsmaterialien in die Gasphase und nachfolgendem Niederschlagen auf eine Unterlage/Substrat*.

Treffen Ionen hoher Energien auf Festkörperoberflächen – meist als Target bezeichnet –, tritt oberhalb einer gewissen Schwellenergie eine Zerstäu-

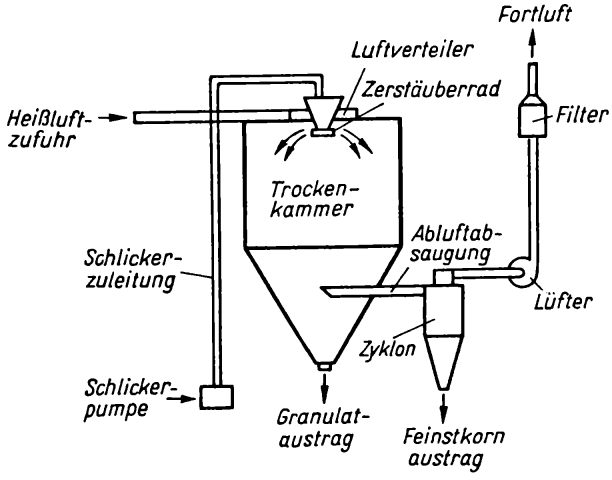
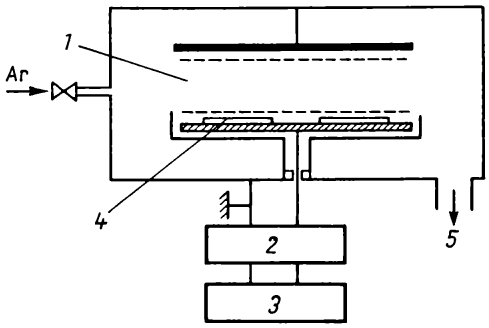


Bild 1. Zentrifugalzerstäubung (Gleichstromprinzip)



Aufbau einer Sputteranlage
1 Plasma
2 Anpassungsnetzwerk
3 HF-Generator
4 Proben
5 Pumpe

bung des Materials ein. Die Zerstäubungsausbeute hängt einerseits von den Ioneneigenschaften des eingesetzten Gases und andererseits von den Festkörpereigenschaften (Elementezusammensetzung, Gittertypen*, Orientierung der Netzebenen*, Targettemperatur) des zu zerstäubenden Materials (Metalle oder Nichtleiter) ab. Die Schwellenergie liegt für die meisten Metalle zwischen 5 und 25 eV, für isolierende Stoffe (z.B. Al_2O_3) ist sie höher. Als Gas für die Ionenerzeugung wird meist Argon verwendet.

In der Sputtertechnik wird unterschieden zwischen Gleichstrom-Verfahren (selbständige Glimmentladung mit Katodenzerstäubung) und HF-S. Bei beiden sind Arbeitsdrücke von 1 bis 100 Pa erforderlich. Allgemein sind die Sputterraten gering. Bei beiden Verfahren kann dem Arbeitsgas ein entsprechender Anteil an O_2, N_2, H_2S, PH_3, BH_2 u. ä. zugegeben werden; man spricht dann von sog. reaktivem S. Diese Gase oder ihre Dissoziationsprodukte reagieren mit dem Katodenmaterial, so daß chemische Verbindungen zwischen dem Katodenmaterial und den Arbeitsgaskomponenten auf die Substrate aufgetragen werden.

Darüber hinaus kennt man noch ein Hochratezerstäuben mit Hilfe des Plasmatrons*; bei Drücken von 10^{-1} Pa werden hierbei höhere Raten erzielt (Plasmazerstäuben).

Außer zur Erzeugung feiner Strukturen für integrierte elektronische oder optische Bauelemente und Reinigen von Oberflächen wird S. noch zum Polieren von Oberflächen und Abdünnen von Proben für die Transmissionselektronenmikroskopie angewendet. [446 bis 448]

S-Risse – *nach dem Trocknen einer Masse sichtbare Fehler in Form eines S über die gesamte Querschnittsfläche eines Massestranges.* Die Ursachen sind komplex, d. h., masseseitig tragen bestimmte Komponenten und maschinenseitig ungenügender Druck in Preßkopf und Mundstück (die geglätteten Tonschollen müssen hier zu einer einheitlichen Masse formiert werden) sowie die glättende Wirkung von Schneckenmessern dazu bei (Abhilfe: Magern der Masse, Einbau von texturbrechenden Hindernissen (Gitter), bessere Entlüftung u. a.).

s. Vakuumstrangpresse

Stabilisatoren (lat.: stabilus = standfest) – *Stoffe, die reaktionsfreudigen Substanzen oder Substanzen, die Phasenumwandlungen durchmachen, zugemischt werden, um vorzeitige oder unerwünschte Re-*

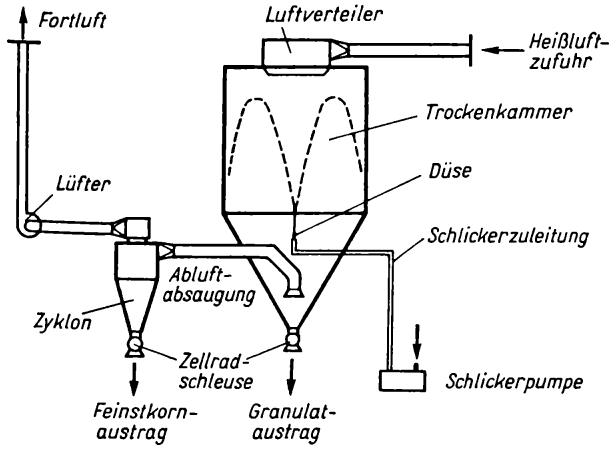
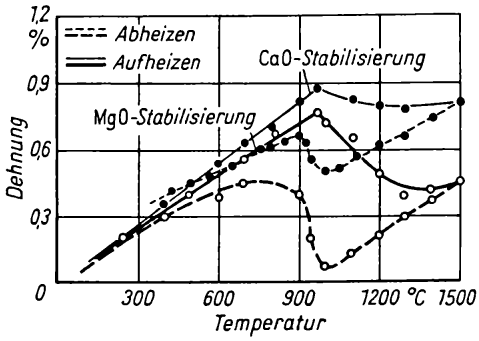


Bild 2. Düsenzerstäubung (Gegenstromprinzip)

aktionen zu verhindern bzw. die Phasenumwandlungen auszuschalten. So kann z. B. durch Zusätze von MgO, CaO, Y_2O_3 die kubische Hochtemperaturmodifikation des ZrO_2 durch Bildung von Mischkristallen mit Fluoritstruktur stabilisiert und die reversible monoklin/tetragonale Umwandlung bei 1 000 bis 1 200 °C unterbunden werden. Diese Umwandlungen mit einem Volumensprung von 12 % lassen sonst den Werkstoff zerrieseln. Siehe dazu auch das Bild von Wärmedehnungskurven von unterschiedlich stabilisiertem ZrO_2 (nach [133]).



Wärmedehnungskurven von unterschiedlich stabilisiertem ZrO_2

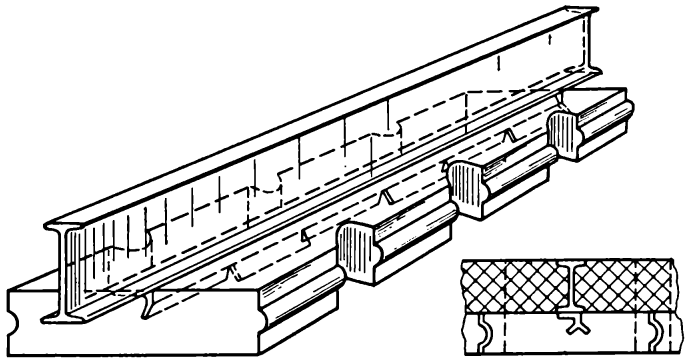
Staffieren – farbige Ausstattung von Porzellanfiguren oder plastischen Elementen an Porzellangefäßen.

Stahlbeton, hitzebeständiger – *auf der Basis von Schamotte und/oder anderen temperaturbeständigen Zuschlagstoffen, Portlandzement*, Tonerdeschmelzzement*, Tonerdezement* und Wasserglas und einer Bewehrung aus Spezialstahl bzw. auch Stahlfasern hergestellter Verbund, der für Oberofenzustellungen (Auflegedecken, Hängedecken) verarbeitet wird.* Erzeugnisse aus h. S. sind bis zu einer Anwendungstemperatur von 1 400 °C einsetzbar.

Der Zusammenhalt zwischen Stahl und Beton beruht auf Haftung, Reibung und Scheren; oberhalb von 450 °C macht sich jedoch der unterschiedliche Ausdehnungskoeffizient von Stahl und Beton bemerkbar, deshalb ist man bestrebt, die Bewehrungen in den äußeren, weniger erwärmten Betonteilen anzuordnen. Eine Möglichkeit ist z. B. die Verwendung von I-Trägern, die teilweise aus dem Beton herausragen (s. Bild 1), dadurch wird eine schnelle Wärmeableitung erreicht. Die überstehenden Teile des Trägers dienen als Auflagefläche des Elementes auf die Seitenwände des Ofens; bei dieser Konstruktion werden die Träger nach Verlegung der Elemente in eine Wärmeisolierschicht gebettet (s. Bild 1b).

Eine gegen Ende der 70er Jahre aufgekommene neue Generation von Feuerbetonfertigteilen stellt eine prinzipiell andere Lösung dar: in ein tragendes Stahlbetonskelett und ein Gemenge von Feuerbeton* werden Wärmedämmeinlagen eingebracht. Nach *Borrmann* und Mitarbeiter weisen diese neuen Oberofenelemente eine Reihe von Vorteilen gegenüber der monolithischen Zustellung* und Hängedecken aus kleinformatigen Steinen auf, so z. B.:

- selbsttragende Konstruktionen, die außer ihrem Eigengewicht auch z. B. Brenner ohne zusätzliche Aufhängung tragen können,
- Verwendung einfacher metallischer Aufhängung bei Hängedeckenelementen und damit Verzicht auf keramische Ankersteine,



a) b)

Bild 1. I-stahlbewehrte Fertigbauteile aus hitzebeständigem Beton (*Nekrasov*)

– zentrale standardisierte Vorfertigung bzw. auch Fertigung vor Ort (s. auch Bild 2).

[305, 545]

Stahldruck – *ein in der Keramik angewandter Einfarbendruck (Farbe, Edelmetallpräparate, Goldunterlage), bei dem die Motive (Kanten, Embleme u. a.) auf den glasierten, glattgebrannten Scherben (u. U. auch in Unterglasurdekoration bei Steingut) im Umdruckverfahren aufgetragen werden* (s. Bild S. 438). Der Umdruck erfolgt aus eingeätzten Vertiefungen in Stahlplatten (das Ätzen geschieht mit Hilfe von Salpetersäure + destill. Wasser im Verhältnis 1:3, Ätzdauer 4 bis 8 min; bei Stahlstich wird die Zeichnung, das Muster, mit Hilfe eines Grabstichels eingraviert) mit Hilfe eines Spezialseidenpapiers als Zwischenträger. Die mit Firnis angemachte Farbe wird zuvor in die Vertiefungen gerakelt. Nach dem Säubern der Platte und Andrücken des Seidenpapiers bleibt die Farbe mit dem klebrig werdenden Firnis am Papier haften und kann so auf den Gegenstand übertragen werden. Neben Handdruck und halbmechanischen Druckwalzen erreichte der S. den höchsten Grad der Mechanisierung in der sog. *Stahlstichprägepresse*: Eine Gummiwalze nimmt die Farbe von der Stahlwalze, die aus einem Farbwerk gespeist wird, und drückt sie in die eingeätzten Vertiefungen der Stahlplatte. Nach dem Säubern der Platte bewegt sich diese zum Drucktisch, wo trockenes Seidenpapier mit hohem Druck auf die Platte gedrückt wird. Am Ende wird das bedruckte Papier beschnitten und dem Umdruck zugeführt.

Stahlformschamotte – aus Tonen mit Al_2O_3-Gehalten von 23 bis 26% und mit Fe_2O_3-Gehalten von 6 bis 9% gewonnene, sehr dichte Schamotte, die in Stahlwerken für Stahlformenmassen verwendet wird.

s. Schamotte

Stahlmantelstein – *mit einem Blechmantel beim Pressen umhüllte, chemisch gebundene Steine* (meist Magnesiachromsteine). S. werden ohne Mörtel verlegt. Beim Einsatz verzundern die Bleche und verschweißen die Steine. Bei etwa 800 °C läßt die chemische Bindung nach, d.h., die Warmfestigkeit sinkt ab, und der Halt der Steinzonen wird von den Schweißzonen übernommen; ab 1400 °C tritt keramische Verfestigung ein.

Stahlwerksverschleißmaterial – *ff. Steine und Massen, die zum Vergießen von Stahl benötigt werden und nur einen Guß aushalten.* Nach dem Ort des Einsatzes unterscheidet man:

1) Gießgrubenmaterial

Trichterhauben, Gießtrichterrohre, Königsteine, Gießsteine (Kanalsteine), Kokillenhaubensteine

2) Gießpfannenmaterial

Gießpfannensteine, Pfannenbodensteine, Pfan-

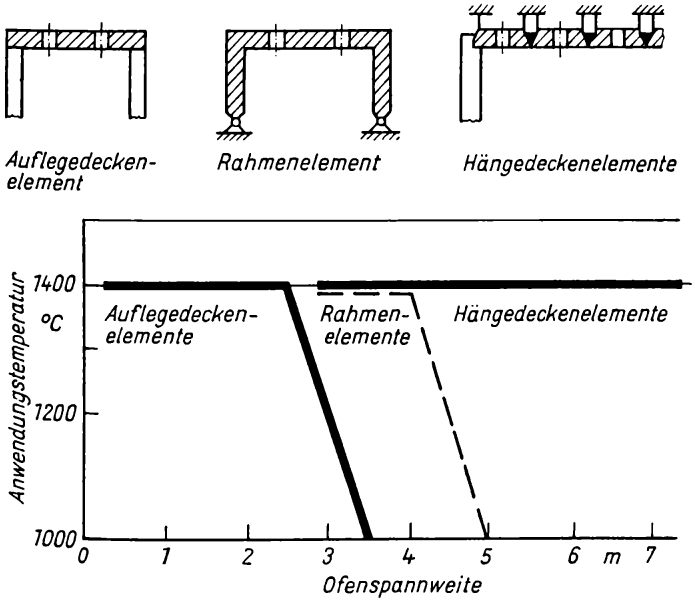
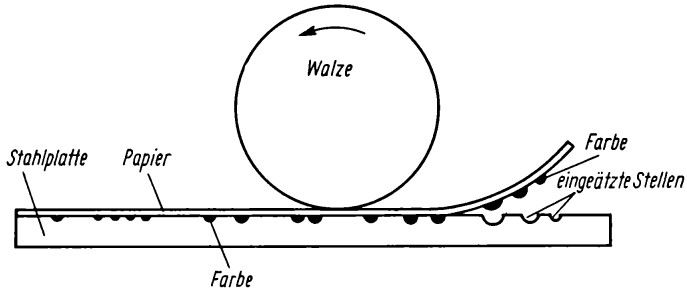
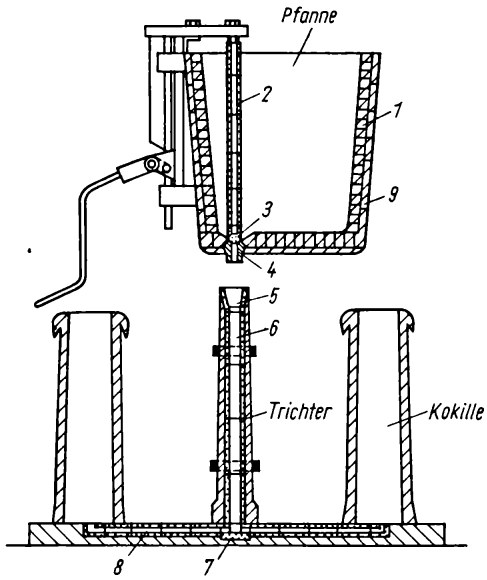


Bild 2. Prinzipdarstellung und Einsatzgrenzen für Oberofenelemente aus hitzebeständigem Stahlbeton (nach [544])



Prinzip des Stahldruckes

nenlochsteine, die den Ausgußstein halten, Stopfenstangenrohre und Stopfen (Pfannensteine halten mehrere Güsse aus, werden aber trotzdem zum S. gerechnet). Nach einer Faustformel werden je Tonne Stahl etwa 25 kg S. benötigt. (s. Bild)



Feuerfeste Baustoffe beim Gießen von Stahl durch ein Blockgespann

1 Pfannensteine
2 Stopfenstangenrohre
3 Stopfen
4 Ausguß
5 Trichterhaube
6 Trichterrohre
7 Königstein
8 Kanalsteine
9 Sandhinterfüllung
(aus: *Harders/Kienow*)

Stampfen – *Formen und Verdichten von wenig bildsamen, krümeligen Massen – sog. Stampfmassen – mit Hilfe von Druckluft- oder Elektrostampfern bzw. -hämmern bei Frequenzen bis zu 300 min^{-1} und Drücken von 10 bis 20 MPa.* Gestampft werden meist großformatige Formlinge in schweren, mit Stahlblech oder Alu beschlagenen Hartholzformen oder vor Ort. Beim S. erfolgt die Zugabe der Masse portionsweise, weil nur so eine gleichmäßige, lunkerfreie Textur des Stückes erreicht wird. Wegen des geringen Wasseranteils in Stampfmassen verläuft der Trockenvorgang ohne besondere Schwierigkeiten. Das Bedienen der Druckluftstampfer stellt eine starke körperliche Beanspruchung dar; der Einsatz von programmgesteuerten Preßluftstampfern wird angestrebt. Als Stampfmasse kommen im wesentlichen nur kieselsäurereiche und tonerdehaltige Massen in Betracht, denen oft noch hydraulische Bindemittel, z. B. Tonerdeschmelzzement, zugesetzt werden. Ein hoher Verdichtungsgrad der Massen wird nur durch ein breites Körnungsband erreicht. So wird für eine feinkörnige Korundstampfmasse folgende Körnung empfohlen: 3 Masse-% >3 mm, 10 bis 12 Masse-% 1 bis 3 mm, 3 bis 5 Masse-% 0,5 bis 1 mm, 30 bis 35 Masse-% 0,12 bis 0,5 mm, 3 bis 6 Masse-% 0,06 bis 0,12 mm und 38 bis 46 Masse-% <0,06 mm. Hochtonerdehaltige Stampfmassen versintern im Einsatz, so daß sie nach der Ofenreise $t_{0,6}$-Werte von >1 600 °C aufweisen. Sie werden insbesondere in der Stahlindustrie zum Bestücken von Seitenwänden, Gewölben und Brennwänden in Herd-, Stoß- und Tieföfen verwendet und sind Steinen an Stellen hoher Korrosion* (Fugen!) vorzuziehen.

Standfestigkeit der Massen – *Grad der Deformationsfreiheit während der Sinterung.* Sie wird wesentlich beeinflußt durch

- das Mengenverhältnis der Phasen Schmelze/Kristalle (flußmittelreiche Massen weisen eine geringe S. auf).
- das Viskositätsverhalten der Schmelze,
- die Korrosionsbeständigkeit der kristallinen Anteile gegenüber den lösenden Angriffen der Schmelze,

- die Kristallneubildungen aus der Schmelze; nadelförmige und verfilzte Kristalle erhöhen die S.

Von Porzellanmassen zeichnen sich quarzreiche, mit Tonerde bzw. vorgebranntem Kaolin angereicherte und durch Mineralisatoren zu starker Mullitbildung befähigte durch hohe S. aus.

Standzeit (Ansaugzeit) – *die Zeit vom Eingießen des keramischen Schlickers bis zur Bildung der erwünschten Scherbendicke bzw. dem Ausgießen des Restschlickers.* Je nach Erzeugnis ergeben sich S. von 15 bis 20 min (Porzellan) bis zu 14 bis 16 h (Kernguß bei sanitären Erzeugnissen). Einflußfaktoren für die S. sind Wassergehalt, Gehalt an Peptisatoren, Zusammensetzung und Temperatur des Schlickers, Feuchtigkeitsgehalt und Saugfähigkeit der Formen, die Druckverhältnisse u. a.

s. Gießen.

Stannate – Verbindungen des Zinns vom Typ $Me^{2+}[SnO_3]$ bzw. $Me_2^{+}[SnO_3]$ (Me Metall). Eine Anzahl von S. haben halbleitende und ferroelektrische Eigenschaften.

Stanzen – *s.* Pressen

Stanzöle – *billige Paraffinkohlenwasserstoffe, denen meist in geringen Mengen Olein zugegeben wird.* Sie werden Preßmassen zugesetzt, um eine bessere Gleitfähigkeit der Masse zu gewährleisten und ein Ankleben an der eisernen Preßform zu verhindern.

Stapelgerät – *Gerät zum Dublieren, Wenden und Stapeln von Wandfliesen, nachdem sie die Presse und Putzmaschine verlassen haben.* Die aus der Putzmaschine kommenden Fliesen werden so zusammengelegt, daß die Spiegelseiten aufeinanderliegen. Sie werden gedreht und auf eine Senkbühne befördert. Durch eine Magnetschaltung gelangen die Fliesen zur Abnahmeseite, von dort auf ein Pufferband und auf den Brennwagen.

Stapelgeschirr – keramisches Geschirr oder auch Hotelporzellan, das so geformt ist, daß es zu standfesten Stößen gestapelt werden kann. Die Bezeichnung S. war auch lange Zeit für Massen- und Gebrauchsgeschirr üblich.

Stäube, nichttoxische – *alle anorganischen und organischen Stäube, die nicht toxisch und nicht allergisierend wirken.* Die S. können die Atmungsorgane des Menschen beschädigen. Dazu gehören n. S. mit fibrogenen Eigenschaften, die Staublungenerkrankungen, z. B. Silikose oder Asbestose, hervorrufen können. Man unterscheidet:

1) Max. zulässige Arbeitsplatzkonzentrationen (*MAK*-Wert) – die Staubkonzentration in T cm^{-3} (T Teilchen) am Arbeitsplatz oder im Arbeitsraum, die nicht überschritten werden darf, um Gesundheitsschäden zu vermeiden,

2) Max. zulässige Durchschnittskonzentration (MAK_D-Wert) – max. zulässiger Mittelwert über eine Arbeitsschicht gemessen.

3) Max. zulässige Kurzzeitkonzentration (MAK_K-Wert) – max. zulässige Kurzzeitkonzentration als Mittelwert über ein 30-Minuten-Intervall während der höchsten Staubbelastung innerhalb einer Arbeitsschicht.

Verbindliche Aussagen dürfen nur aus Konimetermeßergebnissen abgeleitet werden, die von Personen mit einem Befähigungsnachweis für arbeitshygienische Staubmessungen ermittelt werden. In der DDR gelten folgende Normen (s. untenstehende Tabelle):

Stäube, nichttoxische [210]

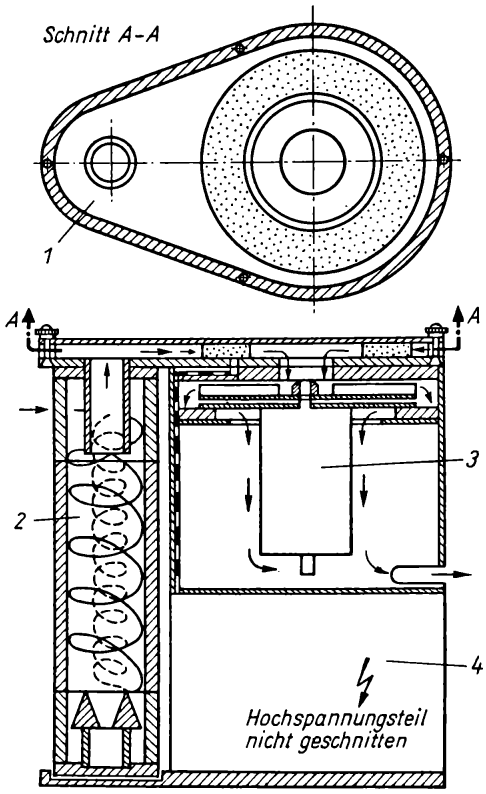
Staubgruppe	Staubart	Freies krist. SiO_2 in Masse-%	MAK_D in T cm^{-3}	MAK_K in T cm^{-3}
I	mineral. Stäube	>50	100	300
IIa	mineral. Stäube	20...50	250	500
IIb	mineral. Stäube	5...20	500	1000
	Talkstaub	ohne	500	1000
III	mineral. Stäube	≦5	800	1500
	nichttoxische Metallstäube	ohne	800	1500
	Kunststoffstäube	ohne	800	1500

T Teilchen

Staubsammelgeräte, zweistufige, gravimetrische – *Konstruktionen zur gewichtsmäßigen Erfassung des Schwebestaubes in Arbeitsräumen, die den Grobstaub vom lungengängigen Feinstaub trennen.*

In einem Vorabscheider wird von einem Zyklon mit definierter Abscheidecharakteristik der Grobstaub abgetrennt. Die Feinstaubabscheidung erfolgt durch einen ringförmigen Filterkörper von lockerer Struktur mit einem sehr geringen, von der Staubabscheidung nur unwesentlich beeinflußbaren Strömungswiderstand. Um den erforderlichen

Abscheidegrad zu erreichen, befindet sich der Filterkörper in einem elektrischen Feld von 7,5 kV cm^{-1} (s. Bild). [210]



Darstellung (Schnitt) eines zweistufigen gravimetrischen *Staubsammelgerätes* (entwickelt im Zentralinstitut für Arbeitsmedizin der DDR, Berlin)
1 Zyklonvorabscheider
2 Feinstaubfilter mit elektrischem Hilfsfeld
3 Saugaggregat
4 Hochspannungsgenerator für Feinstaubfilter

Stearate – *Salze und Ester der Stearinsäure $CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$, die eine höhere Fettsäure darstellt und farb- und geruchlose Blättchen von wachsartiger Beschaffenheit bildet.* Die S. einiger Metalle haben als sog. *Metallseifen* Bedeutung in der Keramik, so Bariumseife als Stabilisator und Gleitmittel, Eisenseife als Eisenresinat in der Porzellanmalerei, Cadmiumseife als Gleitmittel, Magnesium-, Zink- und Aluminiumseife als Gleitmittel, letztere verbessert auch die Geschmeidigkeit keramischer Farben, Calciumseife als Sikkativ (Trockenmittel) für Farben, als Stabilisator und Gleitmittel.

Steatit (griech.: stear, stearatos = Talk) – *magnesiumsilicatischer Werkstoff*, der v. a. in der HF-Technik eingesetzt wird. St. zeichnet sich durch hohe mechanische und gute Isolationsfestigkeit aus und wegen seiner weitgehenden Alkalifreiheit durch geringe dielektrische Verluste. Hauptmassekomponenten sind Speckstein bzw. Talk ($Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]$) und synthetischer Enstatit (β-$MgSiO_3$). Zur Verbesserung der Bildsamkeit werden gewöhnlich einige Masse-% hochbildsamen Tones zugesetzt. Da $MgSiO_3$ durch ein sehr schmales Sinterintervall charakterisiert ist, werden entweder noch einige Masse-% Feldspat* (Normal- oder Feldspatsteatit KER 220) oder bis zu 10 Masse-% $BaCO_3$ (Sondersteatite KER 221, 225, 226) zugegeben. Da Talk als Schichtsilicat zur Texturbildung neigt, muß ein Mindestanteil vorgebrannt werden. Außerdem empfiehlt es sich, einige Masse-% Quarz und Glattscherben zuzugeben. Unerwünscht sind Verunreinigungen durch Eisenoxide* und Kalk*; letzterer begünstigt bei Mengen >5 % die sog. Lagerporosität*.

Die Kalttechnologie einer Steatitmasse unterscheidet sich nicht wesentlich von der einer Porzellanmasse. Für die Formgebung kommen praktisch alle in der Keramik üblichen Formgebungsverfahren in Betracht. Für nichtrotationssymmetrische Teile wird das Schlickergießen* angewandt. Als Peptisationsmittel* dienen Soda, Natriumpyrophosphat. Zweckmäßig werden noch einige organische Hilfsmittel, wie Tannin und Quebracho, zugesetzt. Die Anwesenheit von $BaCO_3$ im Schlicker wirkt sich auf den Peptisierungsvorgang förderlich aus, etwa vorhandenes $CaCO_3$ wird ausgefällt und damit unschädlich gemacht, andererseits verlängert es die Steh- und Trockenzeit. Das verbreitetste Verfahren ist jedoch das Trockenpressen*, bei welchem eine hohe Arbeitsproduktivität und wegen des Wegfalls der Trockenschwindung eine hohe Maßhaltigkeit erzielt werden. In geringem Umfang wird auch das Naßpressen herangezogen. Infolge der Bildsamkeit der feuchten Massen ist es möglich, komplizierte Preßmatrizen einzusetzen, da die Masse unter dem Druck fließt. An der Grenze zwischen Trocken- und Naßpressen steht das sog. Halbfeuchtpressen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 13 %. Die Masse weist noch eine gewisse

Fließfähigkeit auf, sie kann jedoch bereits dosiert aufgegeben werden.

Steatiterzeugnisse können wie Porzellan mit einer Muffel*- oder Scharffeuerglasur* versehen werden. Bei Großstücken werden ausnahmslos Scharffeuerglasuren ausgeführt. Scharffeuerglasuren sind witterungsbeständig; außerdem wäre ein zweites Aufheizen der Großkörper zu aufwendig.

Die Vorgänge beim Brennen* von St. und die Struktur des Scherbens sind seit langem Gegenstand intensiver Untersuchungen; jedoch ist es bisher nicht gelungen, für alle Probleme eindeutige Erklärungen abzugeben, da die Ergebnisse durch die jeweiligen Versuchsbedingungen stark beeinflußt werden. Allgemein wird der Brand oxydierend geführt. Legt man nach *R. G. Schwab* das Stabilitätsverhalten des reinen $MgSiO_3$ zugrunde, laufen etwa folgende Reaktionen ab:

$$\text{Enstatit} \overset{1180\,°C}{\rightleftharpoons} \text{Klinoenstatit} \overset{1260\,°C}{\rightleftharpoons} (\text{Klinoenstatit} \longleftrightarrow \text{Protoenstatit}).$$

Mit Erreichen der Garbrandtemperatur (≈ 1 350 °C) verschiebt sich das Gleichgewicht zum Protoenstatit. Durch das Vorhandensein von 25 bis 50 Vol.-%. Glasphase und/oder überschüssiger Kieselsäure wird die Struktur des Protoenstatits stabilisiert; ein Übergang in die stabilen Formen des Klinoenstatits und Enstatits vermindert, d. h., es wird eine Ausweitung der Stabilitätsform des Protoenstatits vorgetäuscht. Die Umhüllung des Protoenstatits ist so stabil, daß das Sinterprodukt auch nach Jahrzehnten noch in völlig unveränderter Form vorliegt. Das bedeutet, der resultierende Scherben besteht aus Glasphase und Protoenstatitkristallen, bei Normalenstatit beobachtet man jedoch manchmal einige Vol.-% Cristobalit; dieser ist wegen der schlechten *TWB* sehr unerwünscht. Trotz seiner relativ hohen Maßgenauigkeit muß das Sinterprodukt für viele Zwecke durch Schleifen mit SiC- oder Diamantscheiben nachbearbeitet werden. Vor der Installierung werden die Erzeugnisse noch armiert* bzw. metallisiert*. Metallbeläge dienen einmal als Lötgrund, um die Steatitteile mit Metallen oder anderen Keramiken zu verbinden, zum anderen nutzt man die elektrische Leitfähigkeit (z. B. Elektroden).

Neben den erwähnten KER 200, 221 u. a. wird noch ein Preßsteatit (KER 210) mit geringer Porosität für Niederspannungsisolationen und ein St. mit hoher Porosität (KER 240) für Einbauten in Hochvakuumanlagen produziert. Letzterer läßt sich aufgrund seiner offenen Porosität leicht entgasen.

Die Haupteinsatzgebiete des St. sind:

- Isolierkörper für Innen- und Außenraum (z. B. Füße für Sendemasten),
- Fassungen für Elektronenröhren,
- NDK-Kondensatoren*,
- Lötösenleisten,
- Spulenkörper, Wicklungsträger, Rohrkörper, Achsen u. a.

[110, 126, 133, 144, 174 bis 178]

Eigenschaften von Steatit

Kenngrößen	Steatit KER 220	Steatit KER 225
Wasseraufnahme in %	0	0
Rohdichte in g cm^{-3}	2,6...2,8	2,6...2,8
σ_z (unglasiert) in MPa	45	50
σ_B (unglasiert) in MPa	120	150
σ_D (unglasiert) in MPa	850	900
E-Modul in 10^3 MPa	30...40	150
AK in $10^{-7}\,K^{-1}$	60...80	50...70
Wärmeleitfähigkeit in W $(m\,K)^{-1}$	3...4	2...3
TWB in ΔK	80	110
elektrischer Widerstand in Ω	10^{12}	10^{13}
Durchschlagfestigkeit in kV cm^{-1}	200	300
Verlustfaktor (50 Hz) $\tan\delta \cdot 10^{-3}$	3	1...1,5
Verlustfaktor (10^6 Hz)	1,5...2	0,3...0,5

Steg (Notfuß) – als flacher Streifen ausgebildete Stabilisierung größerer Flächen, z. B. auf der Unterseite von Platten (Service).

Steigbord – Bezeichnung für den Teil des Tellers, der zwischen Spiegel und Fahne liegt.

Steiggießen – *s.* Spritzgießen

Steine, basische – *Sammelbezeichnung für eine Gruppe ff. Erzeugnisse, deren Masse-%-Summe von MgO, CaO oder Cr_2O_3 > 50 ist.* Die wichtigsten Vertreter sind:

- Magnesiasteine: $MgO \geqq 80$,
- Magnesiachromsteine: $80 > MgO \geqq 55$,
- Chrommagnesiasteine: $55 > MgO \geqq 25$,
- Chromitsteine: $25 \geqq MgO$; $Cr_2O_3 \geqq 25$,
- Forsteritsteine: $MgO \approx 52$,
- Dolomitsteine: $32 \leqq MgO \leqq 40$, $59 \leqq CaO \leqq 62$.

Steine, säurefeste – *auf der Basis früh sinternder Tone, von Rohkaolin, säurefester Rohschamotte*

und Porzellanglattscherben hergestellte Steine, die hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Säureangriff (außer Flußsäure) aufweisen. Angestrebt wird ein Scherben mit hohem Mullitanteil, der in seiner Zusammensetzung etwa dem Porzellan entspricht. S. S. können nach dem bildsamen oder unbildsamen Verfahren geformt werden. Die Verwendung erfolgt überall dort, wo mit schwachen oder starken Säuren gerechnet werden muß, z. B. bei Fußbodenplatten und Wandverkleidungen in Arbeitsräumen und Lagerhallen für tierische Erzeugnisse, bei Chemikalienbehältern, Zellstoffkochern u. a.

Steine, schmelzgegossene – *feuerfeste Erzeugnisse, deren Ausgangsmaterialien/Massen im Lichtbogen- oder Widerstandsofen geschmolzen und in Formen gegossen werden.* Bei Oxiden nutzt man dabei die Eigenschaft aus, bei hohen Temperaturen selbst genügend elektrische Leitfähigkeit zu zeigen. Als Formenmaterial kommen gekühlte Sonderstähle, Graphit oder durch Spezialmörtel gebundener Sand in Betracht. Um ein einheitliches Kristallgefüge zu erhalten, muß der Kühlung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (Kühldauer mehrere Tage). Die Lunkerbildung kann durch in die Formen eingelegtes schmelzgegossenes Material erheblich vermindert werden. Das eingelegte Material wirkt als Kristallisationskeim, so daß die Kristallisation etwa gleichzeitig am Rand und in der Mitte beginnt. Folgende Fehler können bei diesem Verfahren auftreten: Schwindungsrisse, zu hoher Glasanteil, zu grobe Kristallstruktur, abgeplatzte Kanten u. a. Gegossen werden Mullitsteine (s. Corhartsteine), zirkonhaltige Steine (z. B. das unter dem Handelsnamen Corhart-ZAO-Stein bekannte Erzeugnis mit einer Mineralzusammensetzung von 45% Korund, 27% Baddeleyit, 3% Mullit und 25% Glasphase) und mehrere Typen von Korundsteinen (alkalifreier Korund und alkalihaltiger β-Korund), Spinellsteine, Forsteritsteine u. a. Schmelzgegossene Steine werden fast ausschließlich in der Glasindustrie eingesetzt.

Steingut – *feinkeramisches Erzeugnis mit porösem, nichtdurchscheinendem, weißgelblich brennendem Scherben,* eine Weiterentwicklung der Fayence Ostasiens, Ursprungsland ist England (s. Wedgwood). Steingutmassen bestehen aus eisenarmen (Eisengehalt unter 1%) Tonen und Kaolinen mit guter Bildsamkeit, Quarzsand, Kalkspat oder Feldspat; sie können auch gefärbt sein. Die Technologie ähnelt im allg. der des Porzellans. Die Dekorgebung erstreckt sich meist auf Engoben, Farbglasuren und Unterglasurdekorationen. Der Vorbrand (Rauh-, Schrühbrand; keine reduzierende Atmosphäre) erfolgt je nach Art zwischen 1100 und 1300 °C; der Glasurbrand (oxydierende Atmosphäre, weil die typische Blei-Bor-Steingutglasur durch Rauch und Kohlendioxid grau gefärbt wird) liegt niedriger, und zwar bei 900 bis 1200 °C, im Gegensatz zu Porzellan. Unglasiert hat der Steingutscherben eine *WAF* (Wasseraufnahmefähigkeit) von etwa 10 bis 14%. S. ist anfällig für Haarrisse, die durch die Feuchtigkeitsaufnahme und -dehnung des Scherbens hervorgerufen werden. Man unterscheidet:

1) Kalk- oder Weichsteingut: 50 bis 55% Tonsubstanz, 35 bis 45% Quarz, 5 bis 10% $CaCO_3$; Brand bei 1100 bis 1150 °C; sehr porös; geringe Festigkeit; wenig verbreitet,

2) Feldspat- oder Hartsteingut: 40 bis 55% Tonsubstanz, 35 bis 55% Quarz, 3 bis 12% Feldspat (durch Feldspat wird eine bessere Verdichtung erreicht); Brand bei 1200 bis 1250 °C; $\varrho_R = 2{,}0$ bis $2{,}3\ g\ cm^{-3}$; *WAF* (unglasiert) = 6 bis 12%; *P* (unglasiert) = 20 bis 30%; $\sigma_D = 50$ bis 100 MPa; $\sigma_B = 15$ bis 20 MPa; $WAK = 50$ bis $90 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$; Weißgehalt 70%; durch Erhöhung des Feldspatgehaltes erreicht man eine *WAF* unter 1% und bekommt einen dem Vitreous China* ähnlichen Scherben,

3) Mischsteingut: aus Kalk- und Feldspatsteingut; 50 bis 55% Tonsubstanz, 35 bis 45% Quarz, 2 bis 4% Feldspat, 2 bis 6% $CaCO_3$; Brand bei 1180 bis 1200 °C.

S. wird heute zu Gebrauchsgeschirr, Ziergegenständen, Wandplatten, sanitären Artikeln, unglasiert zu bakteriologischen Filtern, chemisch beständigen Diaphragmen u. a. verwendet.

Steingutglasur – *farbige oder farblose, durchsichtige oder opake Glasur.* Man unterscheidet leicht- und schwerflüssige, bleihaltige oder bleifreie Borosilicatglasuren (auch alkalifreie Fritten). Sie werden entweder als Roh- oder als Frittenglasuren aufgetragen. Auf Feldspatsteingut finden vorwiegend gefrittete Borbleiglasuren Anwendung. Die Glasuren sollen den porösen Scherben abdichten. Sie bewegen sich in den Grenzen

$$RO \cdot 0{,}1 \text{ bis } 0{,}4\ Al_2O_3 \left\{ \begin{array}{l} 2{,}0 \text{ bis } 4{,}0\ SiO_2 \\ 0{,}0 \text{ bis } 0{,}4\ B_2O_3 \\ 0{,}0 \text{ bis } 0{,}5\ SnO_2, \end{array} \right.$$

wobei RO durch K_2O, Na_2O, ZnO, MgO, CaO, PbO eingebracht werden kann (Säurezahl* 0,8 bis 2). Ein Teil des PbO in der Glasurmischung kann vorteilhaft durch BaO ersetzt werden, was sich günstig auf Haarrißfestigkeit und größere Ritzhärte auswirkt.

Steinzeug – *ein keramisches Erzeugnis mit nichtdurchscheinendem, dichtem, verglastem, braunem bis hellem Scherben* hoher mechanischer Festigkeit und weitgehender Widerstandsfähigkeit gegen Laugen und Säuren (außer Flußsäure und siedender Schwefelsäure). S. war bereits vor dem Porzellan in China und Japan in Gebrauch. In Deutschland wurde schon im 11. Jh. um Aachen salzglasiertes S. hergestellt. Bekannt wurde v. a. das Rheinische St., das seit etwa Anfang des 14. Jh. produziert wurde; die Blütezeit lag etwa von 1440 bis 1620 (prächtige Krüge, Kannen u. a.). Die Steinzeugmasse besteht aus frühsinternden, kalkarmen feuerfesten Tonen mit Zusätzen von Quarz und Feldspat (auch Pegmatit) sowie Schamottemehl und gemahlenen Steinzeugscherben. Neben Anflug- und Lehmglasuren (Grobsteinzeug) werden u. U. auch Kunstglasuren verwendet. Grobsteinzeug wird nur in einem Brand bei 1 180 bis 1 300 °C gargebrannt. Hergestellt werden Klinker, Fliesen, Kanalisationsrohre (lichter ∅ bis zu 1 200 mm, Länge bis zu 1 500 mm), Tröge, Säurebehälter, Stallartikel, Isolatoren u. a.

Feinsteinzeug besteht im Mittel aus 40 % Tonsubstanz, 10 % Quarz, 50 % Feldspat. Nach der Masseaufbereitung werden die Gegenstände durch Trokkenpressen, Stanzen, seltener durch Gießen hergestellt und bei 1 150 bis 1 300 °C in Kammer-, Kammerring- oder Tunnelöfen glattgebrannt. Bei etwa 1 300 °C oxydierend gebrannte Erzeugnisse sind braun bis gelblich, reduzierend gebrannte sind grau; das ist vom Eisengehalt und von der Oxydationsstufe des Eisens abhängig.

Hochwertige glasierte Steinzeugwaren werden zweimal gebrannt (Verglühbrand bei etwa 900 °C, Glattbrand bei etwa 1 300 bis 1 320 °C); man verwendet auch bleifreie Roh- und Fritteglasuren. Eine Färbung der Steinzeugmasse kann durch farbig brennende Tone, Erze, Metalloxide oder Farbkörper erfolgen. Hergestellt werden Haushaltgegenstände, Bierkrüge, Labor- und Ziergerät, Fußbodenplatten, säurefeste Steine, chemisch-technische Geräte, Isolatoren u. a. Sondersteinzeuge können Zusätze von SiC, Korund, Magnesit aufweisen.

Kennwerte für chemisch-technisches S.: $\varrho_R = 2{,}2\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$; $E = 50$ bis $70 \cdot 10^3$ MPa; $\sigma_D = 300$ bis 600 MPa; $\sigma_B = 30$ bis 90 MPa; $WAF = 0$ bis 3 %; $\lambda = 1{,}5$ bis $2\ \mathrm{W(m\,K)^{-1}}$; $WAK = 40$ bis $45 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{K^{-1}}$; *TWB:* $\Delta K = 130$ bis 250; Säurebeständigkeit: Masseverlust: <1 %.

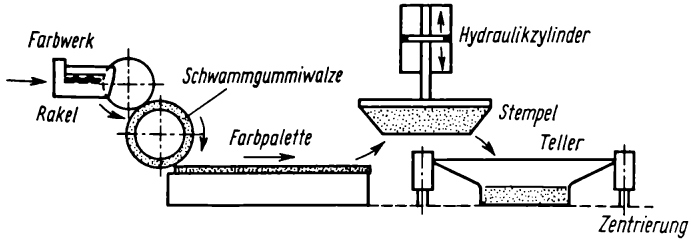
Stellmittel – *s.* Peptisator

Stempeln – *Aufbringen wiederkehrender Dekore mit Hilfe von Handstempeln, Stempelrollen (für Kantendekore) oder Stempelmaschinen.* Gestempelt wird mit präparierten Farben, Edelmetallpräparaten oder einem sog. *Stempellack.* Stempellack stellt eine zähe Flüssigkeit aus Kolophonium, Firnis, Carbolineum, Nelkenöl u. a. dar und brennt beim Dekorbrand restlos aus.

Stempellack wird vom Stempel aufgenommen und als Motiv auf den Gegenstand übertragen. Der so gewonnene Druck wird anschließend mit Puderfarbe oder -gold gepudert (s. Bild).

Stereologie (griech.: stereos = starr, massiv, räumlich) – *innerhalb der Lehre vom Gefüge* ein Verfahren, bei dem von der zweidimensionalen Fläche geometrisch auf den dreidimensionalen Raum extrapoliert wird.*

Bei optischen Untersuchungen der keramischen Werkstoffe werden Schnitte, Anschliffe* und Dünnschliffe* ausgewertet, d. h., es werden zweidimensionale Ordnungen eines in Wirklichkeit dreidimensionalen Körpers untersucht. Die S. hat



Prinzip der Flachgeschirr-Stempelmaschine

eine Anzahl Verfahren entwickelt, die auf das Gefüge (im Raum) schließen lassen.

1) Linearanalyse

Hier werden die Untersuchungsobjekte mit Hilfe eines sog. Integrationstisches unter dem Mikroskop durch das Gesichtsfeld geführt. Ausgewertet wird eine Meßstrecke, die längs einer Meßlinie über die zu identifizierenden Phasen führt. Die Gesamtmeßlänge muß zur Wahrung der Statistik mindestens das 100fache der Strecke der größten Ausdehnung eines Einzelkornes einer Phase betragen. Aus dem Verhältnis der für die verschiedenen Phasen (kumulativ) anfallenden Strecken wird auf das Volumen geschlossen.

2) Punkt- oder Treffermethode

Zur Auswertung wird das Bild der Probenfläche mit einem Netz von Rasterpunkten überzogen und die Anzahl derjenigen Punkte festgehalten, die auf eine Phase fallen. Über angeschlossene Rechner und Software liegt nach kürzester Zeit die Auswertung vor.

Weiterentwicklungen benutzen ein bestimmtes Nomenklatursystem (z. B. nach *Underwood*) und Formfaktoren*.

Die S. stellt ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung des Werkstoffgefüges dar; ihre Verläßlichkeit hängt aber von der Güte der untersuchten Bilder bzw. Schliffe ab. [150, 508]

Stiftmühle – *s.* Desintegrator

Stischowit – eine SiO_2-Hochdruckmodifikation, die bei Drücken >10 000 MPa stabil wird; sie weist eine Dichte von 4,35 g cm^{-3} und eine Koordinationszahl von 6 auf.

s. System SiO_2.

***Stokessches* Gesetz** – *Bemessungsgleichung für den Reibungswiderstand einer in einer Flüssigkeit fallenden Kugel.*

Fällt eine Kugel mit dem Radius R und der Geschwindigkeit v in einer Flüssigkeit mit der Viskosität* η, ergibt sich der dabei auftretende Widerstand K mit der Dimension einer Kraft aus

$K = 6\pi\,\eta\,R\,v$.

Fällt die Kugel in einer Flüssigkeit unter der im Gleichgewicht befindlichen Wirkung von Schwerkraft und Auftrieb, so ist die nach einiger Zeit erreichte konstante Fallgeschwindigkeit

$v = 2(\varrho_K - \varrho_F)\,R^2\,g/9\eta$

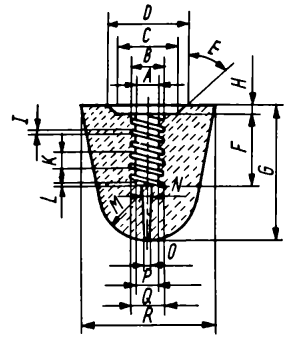
g Gravitationskonstante

ϱ_K Dichte der Kugel

ϱ_F Dichte der Flüssigkeit.

Diese Beziehungen gelten streng nur für kleine Geschwindigkeiten der Kugel, so daß die *Reynolds*sche Zahl* <1 ist. Ferner darf die Kugel nicht zu groß sein und die Viskosität keine sehr kleinen Werte aufweisen.

Stopfen – *auf der Basis von Schamottemasse (z. T. mit Tonerde- und Graphitzusätzen) hergestellte ff. Werkstücke, die zusammen mit Ausgüssen die Gießpfannen verschließen.* S. zählen zum Stahlwerksverschleißmaterial. An den Sitz der S. werden hohe Forderungen gestellt. Sie dürfen nicht am Ausguß festkleben, sondern müssen ihn beim Gießprozeß sofort freigeben. Um einen guten Sitz zu erhalten, werden gewöhnlich harte S. (z.B. Graphitstopfen) mit weichen Ausgüssen, d.h. mit solchen geringerer Feuerfestigkeit, kombiniert. Bei dieser Zusammenstellung können leicht Unebenheiten und kleine Risse am Kontakt ausgeglichen werden. Die Massen für S. werden längere Zeit gemaukt, mehrmals in Vakuumstrangpressen vorgezogen und in Handspindelpressen verformt. (s. Bild).



Stopfen (Die Buchstaben im Bild geben zu berücksichtigende Maße an.)

Stoßfuge – *unbelastete, gewöhnlich vertikale Nahtstelle zwischen aneinanderstoßenden Mauerwerksteilen.* Im Gegensatz dazu wird die belastete, meist horizontale Nahtstelle als Lagerfuge bezeichnet.

Strahlmühlen – *Zerkleinerungsaggregate für die Feinstzerkleinerung von Stoffen aller Härtegrade mit einer oberen Aufgabekorngrenze d< 10 mm.* Während bei mechanischen Feinprallmühlen mit Rotoren nur maximale Umfangsgeschwindigkeiten von 150 bis etwa 200 m s^{-1} und bei gegenläufigen Rotoren (s. Desintegratoren) Relativgeschwindigkeiten von etwa 300 bis 400 m s^{-1} erzielt werden,

sind bei S. Strömungsgeschwindigkeiten von 500 bis 1 200 m s^{-1} gegeben. In S. wird das Aufgabegut mit Druckluft oder überhitztem Dampf auf die erforderliche Beanspruchungsgeschwindigkeit gebracht. Das Treibmittel wird durch Strahldüsen in den Arbeitsraum eingeführt, die je nach Mühlenprinzip unter bestimmten Winkeln am unteren Bogen eines senkrecht stehenden Ovalrohres (s. Bild 1) oder an gegenüberliegenden Seiten einer Mahlkammer direkt gegeneinander (s. Bild 2, Gegenstrahlmühle) angeordnet sein können.

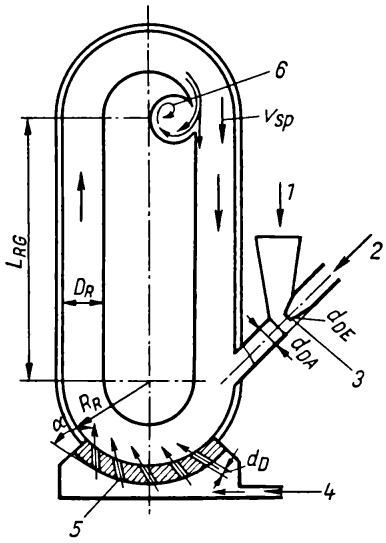


Bild 1. Schema einer Ovalrohr-Strahlmühle
1 Aufgabeguttrichter
2 Injektortreibmittel
3 Injektor
4 Teibmittelzuleitung
5 Strahldüsen
6 Sichter und Trägergas-Fertiggut-Austritt mit Verbindung zum Zyklon und Filter

Das zu zerkleinernde Gut wird im Arbeitsraum der S. infolge aufeinandertreffender Treibmittelstrahlen durch gegenseitige Teilchenstöße, Reibung und Prall gegen Festkörperoberflächen auf Feinheiten <10 µm gebracht, mit dem expandierten, abströmenden Treibmittel über Sichter aus der Mahlkammer ausgetragen und in Abscheideeinrichtungen von demselben getrennt. Damit wird eine Übermahlung vermieden und gleichzeitig ein enges Kornband erreicht. Das Grobkorn wird je nach Mühlenprinzip im inneren oder äußeren Kreislauf der Beanspruchungszone erneut zugeführt. St. weisen praktisch keine Zumahlung

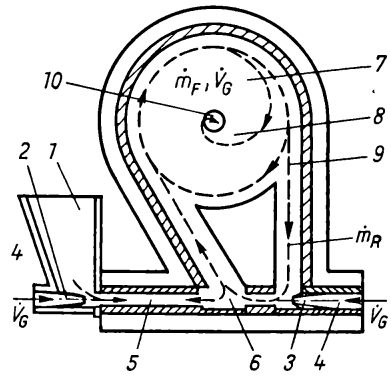


Bild 2. Schema einer Gegenstrahlmühle mit integriertem Sichter (*Trost*)
1 Aufgabetrichter
2 Aufgabestrahldüse mit Injektor
3 Gegenstrahldüse
4 Treibmittelzuleitung
5 Mischrohr
6 Zerkleinerungszone der Mahlkammer
7 Sichter
8 Strömungsverlauf des Trägergases und des Fertiggutes
9 Grobgut-Rücklauf
10 Trägergas-Fertiggut-Austritt mit Verbindung zum Zyklon und Filter

auf. Ein gewisser Nachteil liegt in dem hohen spezifischen Energieverbrauch, außerdem muß ein Mindestdurchsatz eingehalten werden. [330]

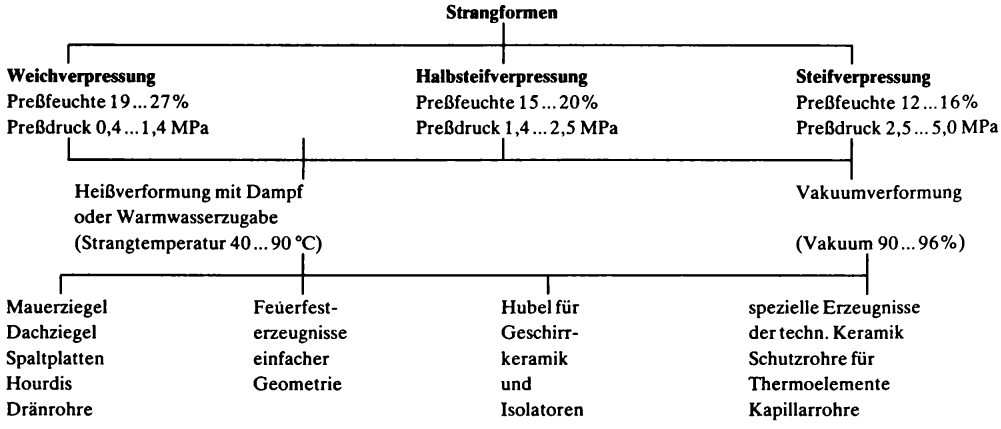
Strahlungspyrometer – *Vorrichtungen zur berührungslosen Messung von Temperaturen.* Das physikalische Prinzip besteht in der Messung der vom Meßgegenstand emittierten elektromagnetischen Wellenstrahlung. Bei Temperaturen unter 600 °C sendet der Meßgegenstand vorwiegend eine Infrarotstrahlung aus, die vom menschlichen Organismus als Wärmestrahlung wahrgenommen wird. Oberhalb 600 °C beginnt der Meßgegenstand zu glühen und sendet außer der Wärmestrahlung eine für das Auge sichtbare Strahlung aus, z. B. Rot λ = 700 nm, Gelb λ = 580 nm, Blau λ = 450 nm. Mit der Temperaturerhöhung nimmt die Intensität der Strahlung zu; gleichzeitig erfolgt eine Verlagerung des Strahlungsmaximums in den kurzwelligen Bereich.

Allgemein gilt:
- Der Temperaturmeßbereich eines S. ist theoretisch nach oben nicht begrenzt.
- Es können Oberflächentemperaturen an Ofen-

gewölben und die Temperaturen von Verbrennungsgasen gemessen werden.
[22]
s. Glühfadenpyrometer, Gesamtstrahlungspyrometer

Strangformen – Verfahren bei der Verarbeitung fast aller bildsamen keramischen Massen einmal zur Homogenisierung und ggf. Entlüftung der Arbeitsmassen als Vorstufe für weitere Formgebungsverfahren wie zum Ziehen (Vor-, Nachziehen) von Hubeln* in der Geschirr- und Elektrokeramik und zum anderen als eigentliches Formen bei der Erzeugung von Ziegeln, Steinzeugrohren, Schutzrohren, Kapillarrohren u. a. Prinzipiell handelt es sich beim S. um ein Pressen der Arbeitsmasse durch einen Zylinder und Mundstück; man spricht deshalb auch von *Strangpressen* oder *Extrudieren**.
Anwendungsbreite des S. nach [39, 111, 125] siehe unten.
Für die Arbeitsweise des Strangformens gibt es technisch verschiedene Lösungen, die durch folgende Maschinen realisiert werden: Vakuumstrangpressen*, Walzenpressen, Kolbenpressen, Scheibenpressen, Schneckenpressen.
Während die Walzenpresse von untergeordneter Bedeutung ist, wird die Kolbenpresse in der technischen Keramik vielfach noch zum Formen dünnwandiger Rohre (Röhrenkondensatoren, Antennenstäbe auf Ferritbasis u. a.) herangezogen. Die Kolbenpresse ist meist an der Decke der Arbeitsräume aufgehängt, so daß der Strang vertikal austritt und leicht ohne Deformation abgenommen werden kann. Die Arbeitsweise ist diskontinuierlich. Zum Beschicken mit Masse wird der Preßzylinder gekippt. Mit der Kolbenpresse werden heute meist künstlich bildsam gemachte Massen (Al_2O_3, $BaTiO_3$, Ferrite u. a.) geformt. Als Maß für die Verarbeitbarkeit einer Masse wird die Reißlänge der Röhrchen angegeben. (Unter Reißlänge versteht man die Länge des Stranges, der durch das eigene Gewicht vom Mundstück der vertikal hängenden Presse abreißt [126].)
Bei der Scheibenpresse wird die Masse kontinuierlich aufgegeben. Eine Glattwalze und eine gegenläufige Scheibenwalze erfassen die Masse und fördern sie über feststehende Abstreichkeile in einen Preßrumpf. Dabei und unter Anwendung von Vakuum wird die Masse verdichtet und über Preßkopf und Mundstück zu einem endlosen Strang verformt.
Die höchste Bedeutung hat jedoch die Vakuum-Schneckenpresse*. [126]

Strangformen, Formgebungsfehler beim – Obwohl die Strangpresse ein bewährtes Aggregat für Aufbereitung und Formgebung bildsamer keramischer Massen ist, lassen sich eine Reihe von Mängeln eindeutig auf das Prinzip der Schneckenpresse zurückführen, die bekanntesten sind:
1) Mikrotexturen – parallele Anordnung der Tonminerale in Fließrichtung.
2) S-Texturen
Die an der Vorder- und Rückseite eines Schneckenflügels geförderte Masseoberfläche verzahnt sich im Preßkopf nicht, diese »Nahtoberfläche« durchzieht korkzieherartig den Massestrang und führt beim Trocknen u. U. zu Rissen.



3) Drachenzähne
Oberflächenfehler des Stranges, die ihre Ursache in den unterschiedlichen Reibungsbedingungen von Mundstückswandungen und Strangmitte haben.
4) Risse
Sie haben ihre Ursache im diskontinuierlichen Vortrieb der Schnecke über den Querschnitt.
5) Dilatanz* bei weniger bildsamen Massen
Sie äußert sich in einer Versteifung der Masse beim Strangformen, u. U. einem Zerbröckeln des Massestranges.
O. g. Fehler lassen sich u. a. nach folgenden Methoden erkennen:
- Auseinanderbrechen von feuchten, getrockneten oder gebrannten Hubelscheiben in verschiedenen Ebenen sowie Anfertigung von Anschliffen,
- Lagerung eines Stranges bzw. von Strangscheiben unter Wasser,
- Eislinsenbild durch Befrosten frisch gepreßter Strangabschnitte,
- Zerstörung von Hubelabschnitten durch scharfes Trocknen und Auswertung der typischen Rißbilder,
- Abölen getrockneter Strangabschnitte zum Sichtbarmachen feiner Risse,
- Ermittlung der Texturzahl (Texturzahl = Verhältnis von Maximal- und Minimalzugfestigkeit im Strang; eine Texturzahl von 1 heißt, es liegen keine Texturen vor).

[39, 126]

Streuen – *das Abspringen kleiner Körnchen von Kapseln, Einlegeplatten u. a.* Sie fallen auf die Ware, schmelzen in die noch weiche Glasur während des Brennens ein und bilden unliebsame Erhöhungen, die sich nur z. T. abschleifen lassen. (Abhilfe: Einstreichen der Kapseln mit Kapselkitt (Kapselschmiere), bestehend aus Kaolin mit Zusatz von Flußmitteln. Dadurch werden die Oberflächenkörnchen gebunden.)

Streuer – *kleine, meist in Form von Schiebebildern über die Oberfläche keramischer Gegenstände verteilte Dekorelemente* floraler, figürlicher oder ornamentaler Art. Die sog. Streublumenmuster kamen um 1720 in Meißen auf, damals wurden Motive indianischer Blumen* verwendet.

Strohblumenmuster – *ein für »Alt-Thüringer Porzellan« typisches blaues Dekor,* das seinen Ursprung in Meißen 1740 hat (ostasiatisches Vorbild). Der florale Eindruck ergibt sich aus dem Hauptornament, einer gefüllten Blume.

Strohhalmmuster – *ein für das »Alt-Thüringer Porzellan« typisches blaues Unterglasurdekor.* Charakteristisch ist das Hauptornament, vier ineinander verschlungene Kreise, die durch einen fünften kleineren als Mittelpunkt wirkenden, zusammengehalten werden. Dazu kommen strohhalmartige, gebogene, in Blütenständen endende Linien.

Stromklassieren – *Trennen eines dispersen Feststoffsystems nach dem Merkmal Teilchengröße,* wobei die Teilchen sich auf Grund ihrer Sinkgeschwindigkeit während einer Umströmung auf unterschiedlichen Bahnen bewegen. Man spricht deshalb beim S. auch von einer *Trennung in Gleichfälligkeitsklassen.*
Beim S. wird das Klassiergut in eine relativ grobe Fraktion (Klassiergrobgut bzw. Sande) und eine relativ feine Fraktion (Klassierfeingut bzw. Schlämme) getrennt. Die Umströmung wird mit einer Flüssigkeit (nasses S.) oder einem Gas (trokkenes S. oder Windsichten) ausgeführt. Für die Beschreibung des Trennprozesses ist die Hauptbewegungsrichtung des Klassiergrobgutes im Trennraum wesentlich. Sie verläuft bei dem sog. Querstromklassieren senkrecht zur Strömungsrichtung des Fluids (Bild 1), bei der Gegenstromklassierung bzw. beim Aufstromklassieren wird unter Nutzung des Schwerkraftfeldes (Bild 2) gearbeitet, und

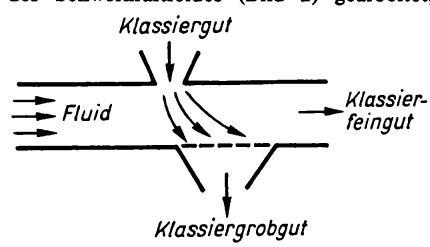


Bild 1. Querstromklassieren

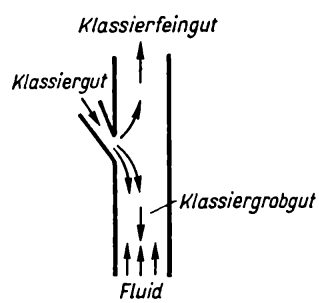


Bild 2. Gegenstromklassieren

beim mechanischen Klassieren wird das Klassiergrobgut mit einem Förderelement auf einem geneigten Trog (Bild 3) entgegen dessen Neigung zum Austrag transportiert.

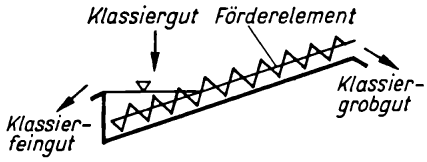


Bild 3. Mechanischer Klassierer

Das S. wird je nach Anwendungsgebiet bei Korngrößen $d < 2$ mm angewendet und ergänzt die bei der Fein- und Feinstkorntrennung oft nicht mehr wirtschaftlich anwendbare Siebklassierung. [15, 330]

s. Hydrozyklon

Strontianit ($SrCO_3$)

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: farblos bis grünlichgelblich; $D = 3{,}6$ bis $3{,}8\,g\,cm^{-3}$; $H = 3{,}5$ bis 4; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}516$, $n_\beta = 1{,}664$, $n_\gamma = 1{,}666$, $\Delta n = -0{,}150$; $2V = 7°$

S. wird meist synthetisch hergestellt und gilt als vielseitiger Glasurrohstoff, als Ersatz für Blei in farbigen Glasuren.

Struktur (lat.: structus = gebaut)

1) Allgemein – die relative Anordnung eines Systems, d. h. die Anordnung eines von seiner Umwelt abgegrenzten Teiles, das nur in seinen wesentlichen Wechselwirkungen mit der Umgebung betrachtet wird.

2) Kristallographie/Chemie – die Anordnung der Atome/Ionen im Kristallgitter (Feinbau).

3) Petrographie – Ausbildung und Größe der Gemengeteile eines Gesteins.

s. Textur, Gefüge, Kristallgitter

Strukturkeramik – *in den letzten Jahren aufgekommener Sammelbegriff für neue keramische Werkstoffe*; diese unterscheiden sich von den herkömmlichen klassischen durch

- Verwendung von nur synthetischen Rohstoffen (Hierdurch gelingt es, die Streuung der Eigenschaften des Endprodukts gering zu halten.),
- Nichtvorhandensein offener Porosität (meist sogar gasdicht),
- hohe mechanische Festigkeiten, z. B. Biegefestigkeiten bis 1 GPa (Im allgemeinen bleiben diese Werte bis zu Temperaturen >1 000 °C und unter korrosiven Bedingungen erhalten.).

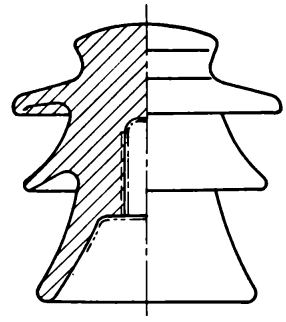
Nach den speziellen Anwendungsgebieten untergliedert man zweckmäßig in Funktionskeramik* und Konstruktionskeramik*. [221, 226, 227]

s. Keramik

Strukturviskosität – *eine von Ostwald eingeführte Bezeichnung für das Fließverhalten von Flüssigkeiten*, die mit zunehmender Beanspruchung leichtflüssiger werden. Die Ursache kann in Veränderungen der Assoziationen in der Flüssigkeit, im Abscheren von Solvathüllen der suspendierten Stoffe u. a. liegen. Vom *Bingham*-Körper unterscheidet sich die S. durch das Fehlen einer Fließgrenze.

s. Modelle, rheologische, Fließen, Viskosität

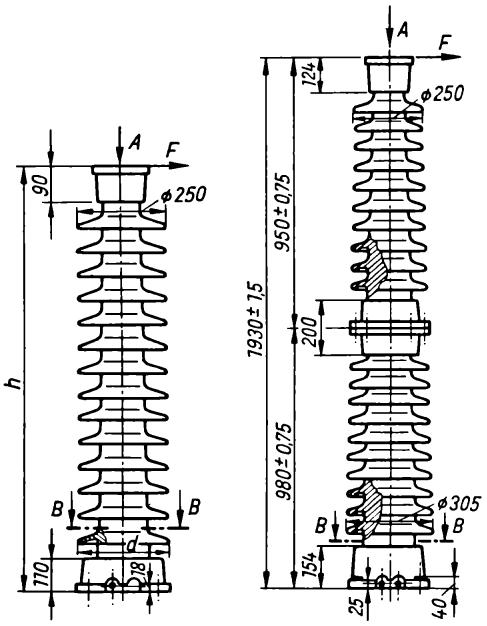
Stützen-Isolatoren – *in der sog. Deltaform ausgeführte durchschlagbare Tragisolatoren für Reihenspannungen bis zu 30 kV.* Die Deltaform mit ihren weit ausladenden, schirmartigen Mänteln schneidet die elektrischen Feldlinien zwischen Leiter und Haltestab senkrecht und bewirkt dadurch eine sehr hohe Kriechstromfestigkeit. Die in neuerer Zeit üblichen verstärkten Ausführungen bieten eine sehr hohe Sicherheit gegen äußere mechanische Beschädigungen. (s. Bild)



Stützenisolator

Stützer – *eine Ausführungsform von Trag-Isolatoren, die außer der elektrischen Beanspruchung noch mehr oder minder großen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind.* Man unterscheidet durchschlagbare Hohlstützer für Innenräume und nichtdurchschlagbare vollmassive Freiluftstützer. Zu einem S. gehören 1 keramischer Körper, 1 aufgekittete Kappe, 1 aufgekitteter Sockel.

Die Bilder stellen Freiluft-Nebel-Stützer dar. Der S. auf Bild *a)* ist ausgelegt für eine Nennspannung von 110 kV, eine Stehwechselspannung von 50 Hz



Freiluft-Nebel-Stützer

(trocken) 355 kV und beregnet 330 kV, eine Nenngrenzbiegelast $F = 6$ kN.

Der S. auf Bild *b)* ist ausgelegt für eine Nennspannung von 150 kV, eine Stehwechselspannung von 50 Hz (trocken) 355 kV und beregnet 330 kV und eine Nenngrenzbiegelast $F = 6$ kN. Der Kriechüberschlagweg* beträgt 3 520 mm.

Suboxide (lat.: sub = nahebei) – *Oxide, die weniger Sauerstoff enthalten, als der Wertigkeit des oxidbildenden Elementes entspricht,* z. B. Ba_2O.

Es sind Wertigkeitsstufen, von denen keine Salze bekannt sind. Nach neueren Untersuchungen soll es sich um normale Oxide handeln, in denen freies Metall gelöst ist.

Substrate (lat.: substratus = unterlegt) – *Trägermaterial, auf dessen Oberfläche oder in dessen oberflächennahen Schichten elektronische Strukturen realisiert werden.*

An S. werden hohe Forderungen bezüglich Oberflächengüte, elektrische Eigenschaften, Kompatibilität mit den verwendeten Pasten, gute mechanische Festigkeit und *TWB*, geringe Verwölbung gestellt.

Kleinformatige S. ($\leq 30\,mm^2$ Grundfläche) mit Dicken $>0{,}8$ mm werden durch Trockenpressen hergestellt. Für alle großflächigeren und dünneren Typen wird das Foliengießverfahren* angewendet. Als Werkstoff für S. wird fast ausschließlich Al_2O_3 eingesetzt (selten Steatit, Forsterit, BeO). Die Eigenschaften von S. für Dick- und Dünnschichttechnik sind in der Tabelle S. 450 zusammengestellt.

Weitere Substrattypen sind:

- glasierte Al_2O_3-S., Verbesserung der Oberflächenqualität durch Auftragen einer Glasur (Siebdruck oder Auflegen einer Glasurfolie),
- metallisierte Al_2O_3-S. zur Anwendung in der Leistungselektronik,
- Lochsubstrate zur Durchkontaktierung oder zum Einsetzen in Anschlußstiften; Bohrungen werden in die Rohfolie eingestanzt oder mittels Laserstrahls in den Sinterkörper eingebracht,
- Snapsubstrate, mittels Lasers* vorgeritzte Mehrfachsubstrate, die später durch Brechen vereinzelt werden.

[123]

s. Schichten, dicke, dünne, Kohlendioxidlaser

Sulfitablauge – *ein wasserlösliches Abfallprodukt bei der Celluloseherstellung.* Die S. besteht im wesentlichen aus organischen Bestandteilen von Tannen- und Fichtenholz und enthält etwa 10% Festsubstanz. S. ist das billigste Klebemittel (z. B. für Silicamassen) und allgemein anwendbar. Als Bindemittel verbessert es bei mageren ff. Massen die Festigkeit nach dem Ausformen und dem Trocknen.

Sumpfen – *ein von altersher in Kleinstbetrieben (Töpfereien) und grobkeramischen Betrieben angewandtes Verfahren zum Aufschließen und gleichmäßigen Durchfeuchten von Tonen.* Der aufbereitete Ton wird eine bestimmte Zeit in geeigneten Räumen gelagert und mit Wasser benetzt. Heute wird das S. in mechanisch oder automatisch beschickten Sumpfhäusern durchgeführt. Die Beschickung des Sumpfbeckens erfolgt über Abwurfwagen mittels Beschickerbändern, der Abbau aus dem Sumpfbecken mit Eimerkettenbagger, seltener mit Greifern. Die Anlagekosten für Sumpfhäuser sind hoch, so daß sie sich nur bei hochwertigen grobkeramischen Erzeugnissen (Klinker, Dachziegel u. a.) amortisieren.

Superfinshen – *s.* Honen

Suspension (lat.: suspendere = aufhängen, unterbrechen, schweben) – *ein heterogenes Flüssigkeits-Feststoff-Gemisch, bei dem in einem homogenen, flüssigen Dispersionsmittel feste Teilchen (disperse*

Erzeugniseigenschaften von Substraten

Parameter	Dickschicht-substrat	Dünnschicht-substrat	Glasiertes Substrat
Al_2O_3-Gehalt in %	92...97	99,7	96
Länge × Breite in mm^2	12,7 × 19//25 × 25 30 × 50//60 × 100	max. 100 × 160	wie Dickschicht-substrat
Längentoleranz in % der Länge	±1	±1	±1
Dicke in mm	0,6/0,63	0,6/0,63	0,6/0,63
Verwölbung in % der Flächendiagonale	<0,3	<0,3	<0,3
Oberfläche	unbearbeitet	unbearbeitet	glasiert
R_a in µm	0,3...0,8	0,03...0,1	0,001...0,002
R_m in µm	3,0...8,0	0,3...0,6	–
Sinterrohdichte in g cm^{-3}	3,65...3,85	3,90...3,95	3,65...3,85
mittlere Kristallitgröße in µm	3...6	0,5...1	–
spezifischer elektrischer Widerstand in Ω cm bei Raumtemperatur	$10^{13}...10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}...5 \cdot 10^{14}$	$10^{12}...10^{14}$
dielektrischer Verlustfaktor bei 1 MHz	$1 \cdot 10^{-3}...3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}...4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}...8 \cdot 10^{-4}$
Wärmeleitfähigkeit in W(m K)$^{-1}$	8...15	15...20	6...8

Phase) aufgeschwemmt sind. Nach dem Teilchendurchmesser *d* unterscheidet man:
- grobe S. ($d > 100$ µm),
- feine S. ($d = 100$ bis 0,5 µm),
- Trübe ($d = 0,5$ bis 0,1 µm),
- Suspensoide (d = 0,1 bis 0,001 µm).

Trüben und Suspensoide zählen nach der Größenordnung der Teilchen bereits zu den kolloiden Systemen. In beiden führen die Teilchen eine intensive *Brown*sche Molekularbewegung aus, hervorgerufen durch Stöße der umgebenden Flüssigkeitsmoleküle. Diese Bewegung verhindert das Absetzen im Schwerefeld. S. fallen bei der Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe (z. B. Rohkaolin) an, werden aber auch angestrebt durch bestimmte Mahlverfahren zur besseren Homogenisierung der Massekomponenten. S. werden durch Filtrieren, Sedimentieren, Zentrifugieren, Sprühtrocknen u. a. Trennverfahren entwässert. Tonminerale lassen sich schwer trennen. In der keramischen Technologie werden S. unter der Bezeichnung *Schlicker* eingesetzt.

Syenit – *ein Tiefengestein, das sich aus den Mineralkomponenten Feldspat, Glimmer, Augit, Hornblende oder auch nur aus einer dieser Mineralgruppen zusammensetzt.* Es enthält keinen freien Quarz. S. hat ein sehr breites Sinterintervall und kann deshalb in keramischen Massen mit niedriger Garbrandtemperatur den Feldspat vertreten, z. B. in Massen für Sanitärwaren, Fliesen u. a.

Symmetrie (griech.: symmetria = zu gleichen Anteilen) – *allgemein die Wiederholung eines Motivs.* Bei Kristallen äußert sich die S. in der Invarianz geometrischer Objekte gegenüber Spiegelungen an einem Punkt, einer Achse oder einer Ebene und gegenüber Drehungen um einen Punkt und eine Achse. Man unterscheidet danach an einfachen Symmetrieelementen:

1) Symmetriezentrum
Zu jeder Fläche, Ecke, Kante ist vom gedachten Mittelpunkt aus gesehen eine Gegenfläche, -ecke und -kante vorhanden.

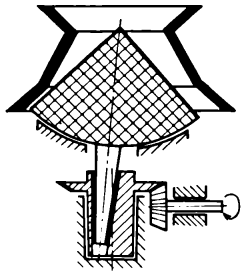
2) Symmetrieebene
Sie teilt einen Kristall in zwei spiegelbildliche Hälften.

3) Drehachsen oder Gyren
Bei Drehung des Kristalls um einen von 360 °C verschiedenen Winkel hat man den gleichen Anblick. Man kennt Hexagyren mit 60°-Drehung, Tetragyren mit 90°-Drehung, Trigyren mit 120°-Drehung und Digyren mit 180°-Drehung.

Zusammen mit einigen anderen (hier nicht ange-

führten) Symmetrieoperationen kommt man zu den Symmetriegruppen. Enthalten diese Symmetriegruppen keine beliebig kleinen Translationen mehr, werden sie Raumgruppen genannt; die 230 möglichen Raumgruppen beschreiben die Idealstruktur der Kristalle.

Symonskegelbrecher – *ein von den Brüdern Symons entwickelter Flachkegelbrecher zur Mittelzerkleinerung von Hartgut.* Das Bewegungsschema ist im Bild dargestellt: ein taumelnder, schwerer



Bewegungsschema eines Flachkegelbrechers

Brechkegel drückt das Zerkleinerungsgut gegen den Brechmantel. Die taumelnde Bewegung des Kegels wird durch exzentrische Lagerung der Kegelachse an ihrem unteren Ende und Drehung des Lagers um eine vertikale Achse verursacht. Die jeweilige Stellung des Brechkegels verengt oder erweitert den Brechraum. Das Aufgabegut wird dabei zerkleinert, bis es aus dem Brechraum herausfällt. Das Zerkleinerungsverhältnis beträgt etwa 8:1.

S. zeichnen sich durch schnellen Durchgang des Brechgutes und geringen Schrot- und Mehlanteil aus.

Synärese (griech.: syn = gleichzeitig; lat. haerere = kleben) – unter Beibehaltung der Form erfolgender Rückgang der Quellung eines Flüssigkeit enthaltenden Gels (Lyo- bzw. Hydrogel) und die dabei erfolgende Abscheidung der Quellflüssigkeit.

s. Kolloide, Xerogel

System Al_2O_3 – *s.* Aluminiumoxid

System $MgO–Al_2O_3–SiO_2$ – In diesem System liegt eine Anzahl wichtiger keramischer Erzeugnisse (s. Bild 1): Periklas*, Forsterit*, Steatit*, Silica*, Spinell*, Korund*, Mullit*, Cordierit*. Das vollständige Phasendiagramm (Bild 2) weist als wichtige ternäre Verbindungen nur Cordierit* ($M_2A_2S_5$) und Sapphirin* ($M_4A_5S_2$) auf.

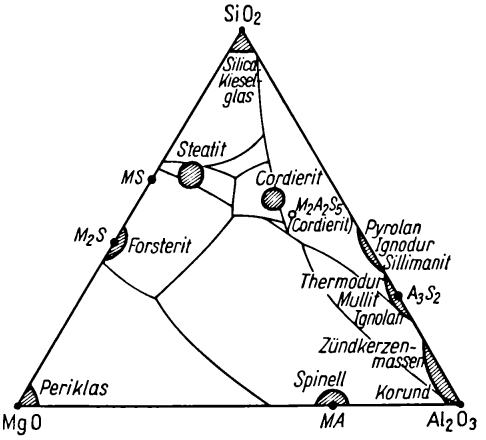


Bild 1. Lage technischer Werkstoffe im System $MgO–Al_2O_3–SiO_2$

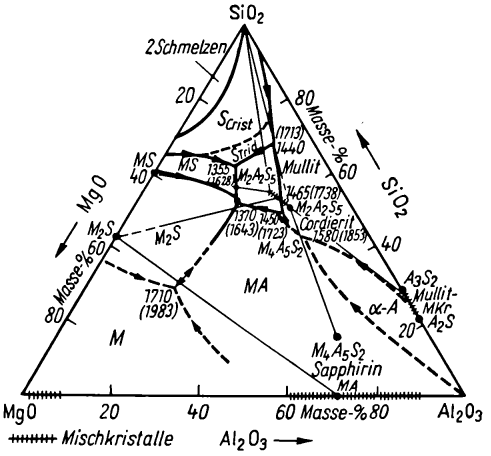


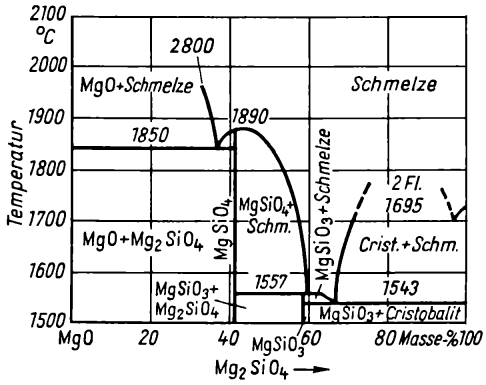
Bild 2. System $MgO–Al_2O_3–SiO_2$ (*Rankin, Merwin* u.a.)

System $MgO–SiO_2$ – Das S. $MgO–SiO_2$ hat für die Erzeugung von Steatit, Forsterit u. a. keramischen Produkten Bedeutung. Es kann als Teilsystem einer Reihe komplizierter Systeme gewertet werden, die u. a. FeO, CaO usw. enthalten. Nach *Bowen, Greig* und *Andersen* hat es die im Bild S. 452 dargestellte Form.

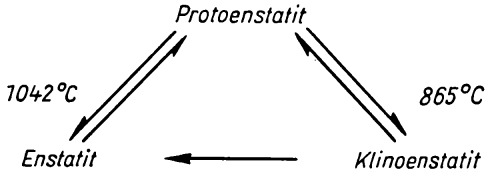
Im System werden folgende kristalline Phasen beobachtet: s. Tabelle S. 452.

Über die Stabilitätsbereiche der drei Formen $Mg_2[Si_2O_6]$ gibt es in der Literatur gegensätzliche Auffassungen, nach *Sarver* und *Hummel* gilt (s. Schema S. 452):

Offensichtlich werden die Umwandlungen in ho-



Zweistoffsystem $MgO-SiO_2$ nach *Bowen, Greig* und *Andersen*



Kristallsystem	Dichte in g cm^{-3}	Linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha \cdot 10^{-6}\,K^{-1}$
Forsterit $Mg_2[SiO_4]$, orthorhombisch	3,216	20/1 000:11
Enstatit $Mg_2[Si_2O_6]$, orthorhombisch	3,175	
Protoenstatit, orthorhombisch, $\gamma = Mg_2[Si_2O_6]$	3,10	20/1 000:11
Klinoenstatit, monoklin (β?) $Mg_2[Si_2O_6]$	3,185	20/600:8,9

hem Maße von Fehlordnungen, Entstehungsbedingungen (Keimbildungsschwierigkeiten), vorhandenen Zusätzen, Mineralisatoren und Brennregime beeinflußt. Die beim Steatit beobachtete Umwandlung von Protoenstatit in Klinoenstatit und die damit verbundene Gefügelockerung wird als Lagerporosität bezeichnet und kann u. a. durch eine Bariumglasphase verhindert werden. Wegen der geringen Abweichungen der Ionenradien von Mg^{2+} (0,078 nm nach *Pauling*) und Fe^{2+} (0,083 nm) ist Mischkristallbildung möglich.

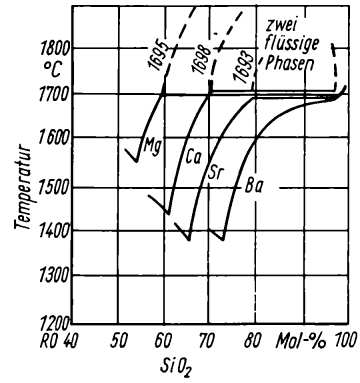
System $Mg_2[SiO_4]$–$Fe_2[SiO_4]$ – Das System $Mg_2[SiO_4]$(Forsterit)–$Fe_2[SiO_4]$ (Fayalit) zeigt eine durchgehende Mischkristallbildung. Auf Grund der Größe der Ionenradien (nach *Pauling*) Mg^{++} = 0,78 nm und Fe^{++} = 0,083 nm können sie sich gegenseitig vertreten. Ihre Mischkristalle werden als *Olivine* bezeichnet (Synonyma: Chrysolith und Peridot). Das System hat nach *Bowen* und *Schairer* die im nebenstehenden Bild gezeigte Form.

Als weitere Kationen können isomorph eingebaut werden:

Mn^{++} = 0,091 nm Co^{++} = 0,082 nm
Ni^{++} = 0,078 nm Zn^{++} = 0,083 nm.

Sehr häufig beobachtet man bei Olivinen infolge der hohen Viskosität der Schmelze Strukturen mit forsteritreichem Kern und fayalitreichen Randpartien.

System $RO-SiO_2$ – Die S. $RO-SiO_2$ zeigen die im System R_2O-SiO_2 angedeutete Tendenz zur Bildung von zwei Schmelzen deutlich ausgeprägt (s. Bild).

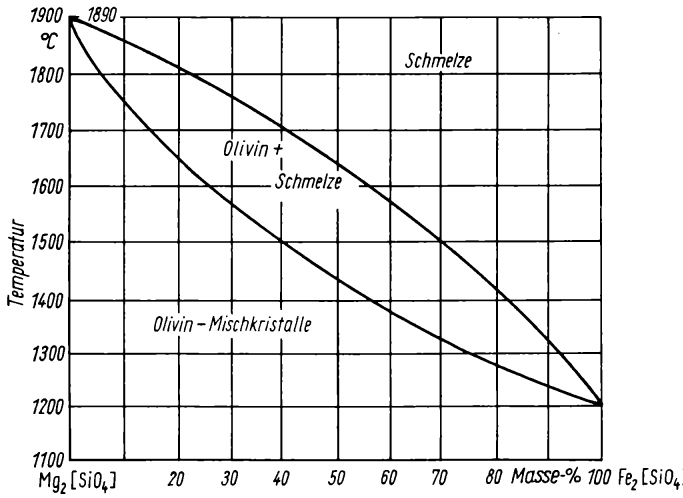


SiO_2-reiche Seite des Systems $RO-SiO_2$ nach *Kracek*

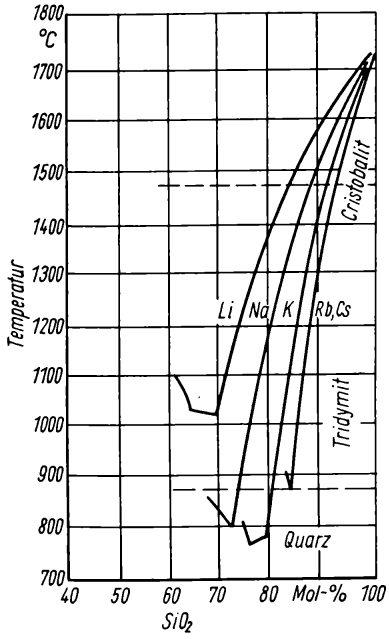
Die technische Bedeutung des Systems liegt vor allem darin, daß die Schmelzen wegen der geringen Einstellgeschwindigkeit der Gleichgewichte meist glasig erstarren, so daß zwei Phasen mit unterschiedlichen Brechungsindizes u. a. vorliegen.

System R_2O-SiO_2 – Die Darstellung nach *Kracek* (entnommen aus *Salmang/Scholze*) zeigt die für den Keramiker interessante SiO_2-reiche Seite, den Einfluß geringer Mengen von Alkalioxiden auf SiO_2 (s. Bild).

Die Form der Liquiduskurve vom Cs_2O zum Li_2O



Zweistoffsystem
$[Mg_2[SiO_4]-Fe_2[SiO_4]]$



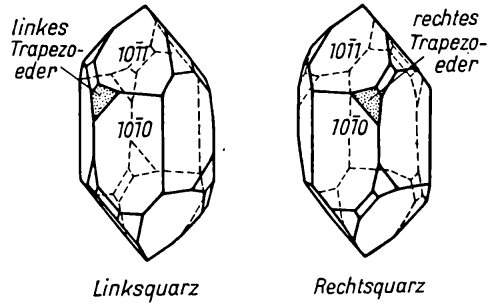
SiO_2-reiche Seite des Systems R_2O-SiO_2

tendiert zur S-Form hin, woraus man auf die Möglichkeit der Entmischung mit metastabiler Mischungslücke schließen kann. Werden Schmelzen aus diesem Gebiet im Gleichgewicht abgekühlt, so erhält man die entsprechenden kristallinen Phasen. Es ist auch leicht möglich, ohne Kristallisation zur glasigen Erstarrung zu kommen.

System SiO_2 – *Siliciumdioxid, freie Kieselsäure, beständigste Siliciumverbindung.* Sie kommt in der Natur in den verschiedensten Varietäten vor. Man faßt sie in den vier Gruppen: Quarz-Chalcedon-Opal-Gesteine zusammen. Das Schema »SiO_2 in der Natur« (nach *Dinger* und *Jebsen-Marwedel* [24]) siehe S. 454.

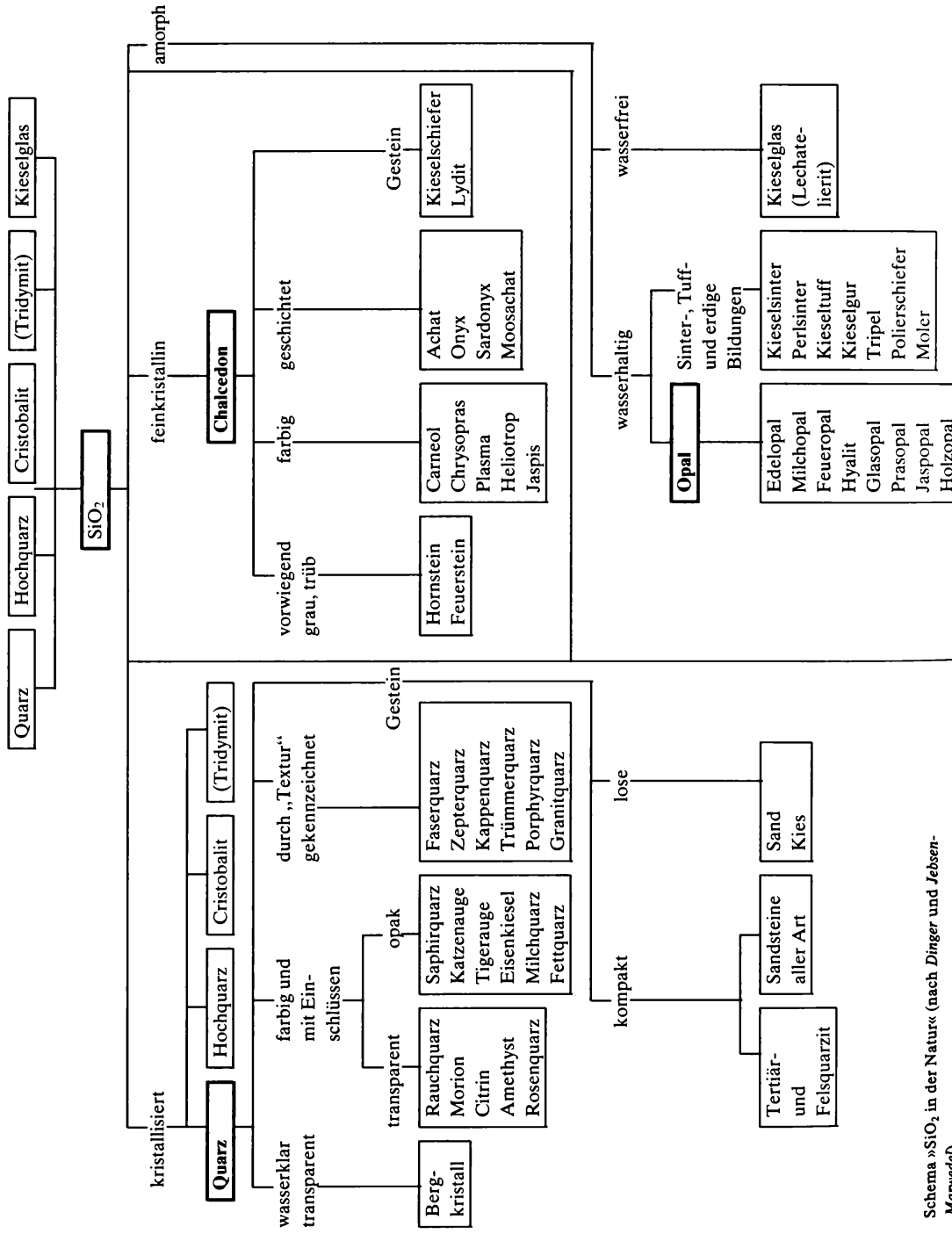
1) Quarzgruppe

Typische Eigenschaften sind die Form (hexagonales Prisma, Rhomboederflächen, trigonales Trapezoeder u. a, s. Bild); die Härte 7 nach *Mohs*; mu-



scheliger Bruch mit Fettglanz; das Fehlen von Spaltbarkeit, die Säureresistenz (ausgenommen HF, mit der sie leicht SiF_4 bildet). Die Vertreter haben charakteristische Färbungen:

Bergkristall: wasserklar
Citrin: zitronengelb
Rosenquarz: lichtrosarot
Katzenauge: grünlichgrau
Eisenkiesel: durch Fe-Oxide gelb
Rauchquarz: rauchgraubraun



Schema »SiO_2 in der Natur« (nach *Dinger* und *Jebsen-Marwedel*)

Amethyst: violett
Saphirquarz: bläulichtrüb
Tigerauge: seidig gelbbraun
Milchquarz: milchigtrüb
Zepterquarz: in C-Richtung parallel miteinander verwachsene Kristalle
Kappenquarz: durch Wachstumsstörungen kappenartig gestapelt.

2) Chalcedongruppe
Krypto-feinkristalliner Quarz, Gemenge von fasrigem Quarz und Opal, seltener Cristobalit, treten auf.
Vertreter:
Achat: Lagen unterschiedlicher Färbung
Sardonyx: braun und weiß
Onyx: schwarz und weiß
Carneolonyx: rot und weiß
Carneol: blutrot
Chrysopras: grün
Heliotrop: grün mit roten Flecken
Plasma: lauchgrün
Jaspis: braun, rot
Hornstein: graues Quarzgestein
Feuerstein, Flint: schmutziggrau, sedimentär-sekretionärer Entstehung aus Kreidesedimenten
Kieselschiefer: feinstkörniges Quarzsediment, das kryptokristallines SiO_2 biogener und chemischer Entstehung sowie Ton enthalten kann.

3) Opalgruppe ($SiO_2 \cdot aq$)
Festes Hydrogel, Wassergehalt 1 bis 21 %, häufig auch Bestandteil von Organismen, Panzer der Diatomeen, Hartteil der Schwämme.
Vertreter:
Edelopal: bläulichgrün, prächtiges Farbspiel (Irisieren, Opaleszenz)
Feueropal: hyazinthrot
Hyalit: wasserklar
gemeiner Opal: blaugrün
Holzopal: mit SiO_2 durchtränktes Holz
Kieselsinter (Geysirit): farblos, erbsenförmig an heißen Quellen
Kieselgur: lockeres Gestein aus den anorganischen Bestandteilen der Radiolaren und Diatomeen (Tripel).

4) Unter die SiO_2-Gesteine ordnet man Sande und Kiese als gelockertes Material und Tertiär-, Felsquarzit* und Sandsteine als verfestigtes Material ein.

Beim Erhitzen bildet SiO_2 eine Reihe polymorpher Modifikationen.

- Unter Normalbedingungen ist Tief- oder β-Quarz die einzige stabile Form des SiO_2, bei 575 °C wandelt er sich »schlagartig« enantiotrop (reversibel) in Hoch- oder α-Quarz um.

$$\text{Tiefquarz} \xrightarrow{575\,°C} \text{Hochquarz} \xrightarrow{>1000\,°C} \text{Hochcristobalit} \xrightarrow{1720\,°C} \text{Schmelze}$$

- Hochquarz geht ab 1 000 °C in einer Langzeitreaktion in Hoch- oder α-Cristobalit über. Da dieser Übergang außerdem noch in einem breiten Temperaturbereich abläuft, kann Hochquarz bei etwa 1 600 °C direkt zum Schmelzen gebracht werden. Die Langzeitreaktion läßt neben dem »Überfahren von Stabilitätsbereichen« bei raschem Abkühlen noch die Ausbildung von Tief- oder β-Cristobalit zu.

$$\text{Tiefcristobalit} \xleftrightarrow{180...270\,°C} \text{Hochcristobalit}$$

- Hochcristobalit schmilzt etwa bei 1 720 °C, beim Abkühlen erstarrt die Schmelze zu Kieselglas*.
- Bei Anwesenheit von 1 bis 2 Masse-% Alkaliverbindungen bildet sich in einer weiteren Langzeitreaktion Hoch- oder α-Tridymit (der nach neueren Untersuchungen nicht als reine SiO_2-Modifikation angesprochen wird.)

$$\text{Hochquarz} \xrightarrow{870\,°C} \text{Hochtridymit} \xrightarrow{1470\,°C} \text{Hochcristobalit}$$

- Von Hochtridymit bilden sich zwischen 250 bis 163 °C und bei etwa 111 °C weitere Tieftemperaturmodifikationen.

Die Temperaturangaben gelten nur für Normaldruck; schon bei Drücken von 1 000 MPa verlagert sich z. B. der Umwandlungspunkt β-Quarz $\rightleftharpoons$ α-Quarz von 575 °C auf etwa 800 °C. Bei noch höheren Drücken bilden sich Coesit* und Stishovit.

Diese Modifikationsänderungen sind mit Längen- bzw. Volumenänderungen verbunden; eine Zusammenfassung bringt die Tabelle nach *Harders-Kienow*, S. 456.

Aus den systematischen Versuchen von *Flörke* ist bekannt, daß geringe Mengen von Alkalien die Umwandlungen stark beschleunigen können, dagegen wird den mehrwertigen Kationen nur eine geringe Mineralisatorwirkung zugeschrieben. Eine starke Mineralisatorwirkung hat Wasserdampf.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigen-

Tabelle nach *Harders-Kienow*

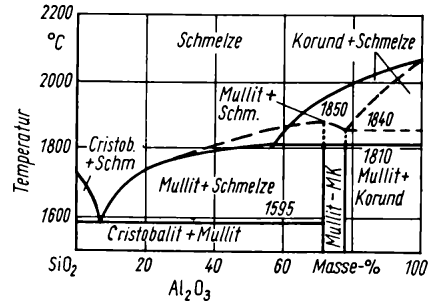
Temperatur in °C	Umwandlungsstufe	Längenänderung in %	Volumenänderung in %
573	$\beta \rightleftharpoons \alpha$-Quarz	+0,26...0,45	+0,86...1,28
200...270	$\beta \rightleftharpoons \alpha$-Cristobalit	+0,9	+1,9...2,7
160...250	$\gamma \rightleftharpoons \alpha$-Tridymit	+0,17	+0,5
867	α-Quarz → α-Tridymit	+5,55	+14,4
1025	α-Quarz → α-Cristobalit	+6,6	+≈17,0
1470	α-Tridymit → α-Cristobalit	+1,05	–
1723	α-Cristobalit → Schmelze		+≈0,1

schaften der SiO_2-Modifikationen gibt die Tabelle nach *Kordes, Koeppel* u. a.
[8, 16, 19, 21, 24 bis 26]

Tabelle nach *Kordes, Koeppel* u. a.

β-Quarz	trigonal-trapezoedrisch; $H = 7$; $D = 2{,}65$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 5\,442$, $n_\varepsilon = 1{,}552\,3$, $\Delta n = +0{,}009$; Bem.: piezo- und pyroelektrisch
α-Quarz	hexagonal-trapezoedrisch; $D = 2{,}60$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}533$, $n_\varepsilon = 1{,}540$, $\Delta n = +0{,}007$
β-Cristobalit	tetragonal-pseudoregulär; $H = 6{,}5$; $D = 2{,}32$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}487$, $n_\varepsilon = 1{,}484$, $\Delta n = 0{,}003$ (sehr gering); Bem.: unter dem Mikroskop kleine rundliche Kristalle
α-Cristobalit	kubisch; $D = 2{,}215$ g cm^{-3}; $n = 1{,}45$ (?)
γ-Tridymit	orthorhombisch-pseudohexagonal; $H = 6{,}5...7$; $D = 2{,}28$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}473$, $n_\varepsilon = 1{,}469$, $\Delta n = +0{,}004$ (sehr gering); Bem.: unter dem Mikroskop keilförmige Kristalle, meist verzwillingt
β-Tridymit	hexagonal-trapezoedrisch; $D = 2{,}30$ g cm^{-3}
α-Tridymit	hexagonal-tafelig; $D = 2{,}27$ g cm^{-3}
Chalcedon	$H = 6{,}5...7$; $D = 2{,}57...2{,}63$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n_\omega = 1{,}530$, $n_\varepsilon = 1{,}538$, $\Delta n = +0{,}008$; Bem.: unter dem Mikroskop Quarzfasern, gelegentlich auch Cristobalit
Opal	amorph, wasserhaltig; $H = 5{,}5...6{,}5$; $D = 1{,}9...2{,}5$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n = 1{,}3...1{,}45$
Kieselglas	amorph; $H = 7$; $D = 2{,}204$ g cm^{-3}; *o. D.:* $n = 1{,}46$

System SiO_2–Al_2O_3 – *eines der wichtigsten und umstrittensten binären Systeme in der Keramik.* Während in der Darstellung der SiO_2-reichen Seite weitgehende Übereinstimmung herrscht, gehen die Ansichten über die einzige Verbindung dieses Systems – den Mullit – weit auseinander. Nach dem ersten Diagramm von *Bowen* und *Greig*

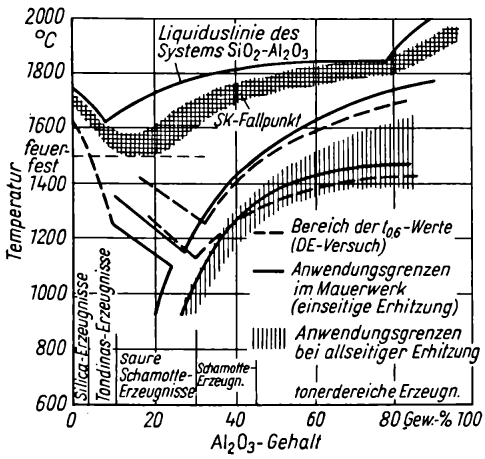


Zweistoffsystem SiO_2–Al_2O_3 nach *Bowen* und *Greig* bzw. *Toropow* und *Galachow* mit (–) inkongruent oder (:...) kongruent schmelzendem Mullit. Temperaturangaben nach *Aramaki* und *Roy*

schmilzt Mullit inkongruent bei 1810 °C. Nach neueren Untersuchungen muß angenommen werden, daß Mullit keine konstante Zusammensetzung aufweist. Sein Al_2O_3-Gehalt schwankt zwischen 72 bis 78 Masse-%. Das entspricht den Grenzformeln $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ und $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Nach *Toropow* und *Galachow* hat Mullit einen kongruenten Schmelzpunkt.

Die sich widersprechenden Ergebnisse sind wahrscheinlich auf unterschiedliche Versuchsanordnungen zurückzuführen. Nach *Konopicky* schmilzt Mullit an Luft inkongruent, in einem abgeschlossenen System hingegen kongruent. Außerdem konnte er nachweisen, daß bei Temperaturen um 1800 °C merkliche Verluste an SiO_2 auftreten. Die Verluste bedeuten eine Verschiebung vom 3,2-Mullit zum 2,1-Mullit, außerdem können sie auch die Ursache für das Auftreten von Korund sein. Bemerkenswert ist noch, daß im vorliegen-

den binären S. die Alumosilicate* Sillimanit, Disthen und Andalusit mit der Formel Al_2SiO_5 nicht vorkommen, sie stellen unter Normaldruck keine stabilen Verbindungen dar.
Eine Einordnung einer Anzahl ff. Baustoffe in das System zeigt das folgende Bild.



Feuerfestigkeit von Werkstoffen im System SiO_2–Al_2O_3 nach *Routschka* [510]

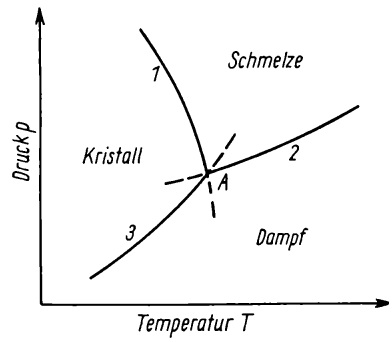
Systeme

1) Teile der objektiven Realität, die von ihrer Umwelt dadurch abgegrenzt werden, daß nur die wesentlichen Wechselwirkungen mit ihr betrachtet werden. Ein *disperses S.* besteht aus mindestens zwei Phasen: einer dispersen (zerteilten) Phase, die in der anderen Phase (dem Dispersionsmittel) verteilt ist. Im *heterogenen S.* sind die aufbauenden Stoffe durch innere Grenzflächen voneinander geschieden, d. h., ein heterogenes S. ist mehrphasig. Zu den heterogenen S. zählen z. B. Gesteine (Granit u. a.). Dagegen werden Stoffsysteme ohne innere Grenzflächen (Gase, echte Lösungen, Minerale) als *homogene S.* bezeichnet. Liegen nur feste und/oder flüssige Phasen vor, so spricht man von *kondensierten S.*

2) System erster Ordnung, System, unäres, Einstoffsystem
Ein nur aus einer Molekülart oder nur einer Atomsorte bestehendes System. In der Technik wird auch dann noch von einem S. erster Ordnung gesprochen, wenn es technisch unvermeidbare oder übliche Verunreinigungen enthält bzw. das System absichtlich mit Zusätzen in geringen Mengen dotiert wurde, um bestimmte Effekte zu erzielen.
Das *Gibbs*sche Phasengesetz vereinfacht sich im S. erster Ordnung zu $P + F = 3$, d. h., es ergibt sich der Zusammenhang:

Zahl der Phasen P	Zahl der Freiheitsgrade F	
1	2	divariant
2	1	monovariant
3	0	invariant

Im p-T-Diagramm werden wiedergegeben (s. Bild):



Gleichgewicht zwischen Kristall, Schmelze und Dampf
1 Schmelzkurve (Gleichgewicht Kristall – Schmelze)
2 Verdampfungskurve (Gleichgewicht Schmelze – Dampf)
3 Sublimationskurve (Gleichgewicht Kristall – Dampf)
A Tripelpunkt (Gleichgewicht Kristall – Schmelze – Dampf)

- *divariante S.* durch Flächen, p und T (p Druck; T Temperatur) können in weiten Grenzen variiert werden,
- *monovariante S.* durch Linien, die den Existenzbereich beider Phasen abgrenzen, so kann z. B. der Druck in weiten Grenzen variiert werden, wobei die Temperatur konstant ist und umgekehrt,
- *invariante S.* durch Punkte, sog. *Tripelpunkte.* Im Tripelpunkt schneiden sich die Sublimations-, die Schmelz- und die Dampfdruckkurve, d. h., es existieren gleichzeitig drei Phasen. Der Tripelpunkt ist eindeutig durch einen bestimmten Wert von p und T festgelegt. Ist die Schmelz-

kurve zur Druckachse geneigt, so ist das Molvolumen des Kristalls größer als das der Schmelze. In diesem Fall sinkt die Schmelztemperatur mit steigendem Druck (z. B. bei Wasser, Bismut u. a.). Im Normalfall ist jedoch die Schmelzkurve nach rechts geneigt, und damit ist auch das Molvolumen der Schmelze größer als das des Kristalls. Mit zunehmendem Druck steigt auch die Schmelztemperatur. Kann eine Komponente in mehreren Phasen (α-, β-, γ-Form, Schmelze und Dampf) auftreten, so sind weitere Tripelpunkte gegeben. An kristallinen Modifikationen können jedoch höchstens drei im Gleichgewicht stehen.

Bei keramischen S. erster Ordnung, die mehrere Modifikationen bilden, unterscheidet man noch:

- Modifikationen mit eigenen Stabilitätsbereichen, die reversibel in andere umgewandelt werden können; sie werden auch als *enantiotrop* bezeichnet,
- Modifikationen ohne eigenen Stabilitätsbereich, die irreversibel in andere umgewandelt werden; sie werden als *monotrop* bezeichnet.

Diese Unterteilung muß eingeschränkt werden, da unter extremen Bedingungen von Druck und Temperatur Überschreitungen immer möglich sind. Bekannte keramische S. erster Ordnung sind: Aluminiumoxid*, System SiO_2* u. a.

*s. Gibbs*sches Phasengesetz, *Ostwald*sche Stufenregel.

Systeme 2. Ordnung (binäre Systeme) – *Zweistoffsysteme oder Zweikomponentensysteme, die sich aus zwei Komponenten aufbauen.* Ihre Phasengleichgewichte werden in Form eines Zustandsdiagramms dargestellt. Die Konzentration der beiden Komponenten wird auf einer Horizontalen aufgetragen, wobei ein Endpunkt reinen Stoff *A* und der andere reinen Stoff *B* wiedergibt. Zwischen beiden Endpunkten liegen verschiedene sich zu 100 % ergänzende Mischverhältnisse der Stoffe *A* und *B*. Die Angabe der Konzentration kann je nach Zweckmäßigkeit in Masse-% oder Mol-% erfolgen.

Senkrecht zur Konzentrationsgeraden wird die Temperatur aufgetragen, während der Druck meist konstant gehalten wird. Den Diagrammen können nicht nur die Schmelzpunkte und Schmelzbahnen bzw. Kristallisationsbahnen entnommen werden, sie geben auch Auskunft über die Bildung chemischer Verbindungen, polymorphe Umwandlungen und über die Mengenverhältnisse der Phasen. Für das letztere bedient man sich einer Regel, die als sog. *Hebelbeziehung* bezeichnet wird. Sie besagt, daß für einen bestimmten Punkt des Systems die Menge der beteiligten Phasen auf einer durch den Punkt gelegten Horizontalen, dem sog. *Hebel*, abgelesen werden kann. Über die Anzahl der möglichen Phasen erteilt das *Gibbs*sche Phasengesetz Auskunft. Die verschiedenen Möglichkeiten der Phasenbildung lassen sich auf einige Grundtypen zurückführen.

1) binäres S. mit Eutektikum

Beide Komponenten gehen weder eine chemische Verbindung miteinander ein, noch lösen sie sich ganz oder teilweise gegenseitig und bilden im festen Zustand keine Mischkristalle. Diese Gruppe stellt den einfachsten und zugleich wichtigsten Typ der binären S. dar (s. Bild 1).

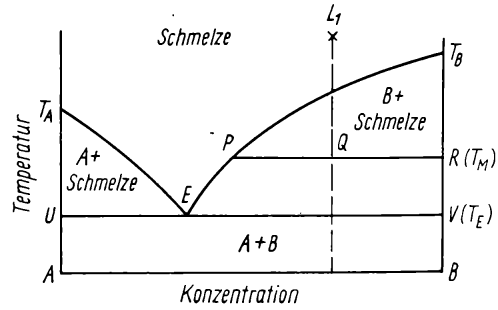


Bild 1. Zweistoffsystem mit Eutektikum (Beide Komponenten sind im flüssigen Zustand mischbar, jedoch nicht im festen.)
T_A Schmelztemperatur des Stoffes *A*
T_B Schmelztemperatur des Stoffes *B*

Die Kurve T_AET_B wird als *Liquiduskurve* bezeichnet und grenzt das Gebiet der homogenen Schmelze von den Zweiphasengebieten *A* + Schmelze und *B* + Schmelze ab. Die Kurve *UV* wird *Soliduskurve* genannt. Sie trennt die Zweiphasengebiete vom Zustandsfeld der festen Phasen ab. (Gelegentlich wird die Kurve, auf der sich das Eutektikum befindet, auch Eutektikale genannt.)

Kristallisationsprozeß der Schmelze L_1: beim Schneiden der Liquiduskurve bilden sich die ersten *B*-Kristalle, mit weiter fallender Temperatur entstehen neue *B*-Kristalle, dabei verarmt die Schmelze an der Komponente *B*, ihre Zusammen-

setzung läuft auf der Liquiduskurve in Richtung E. Bei Erreichen der Temperatur T_E (eutektischer Punkt) erstarrt die Schmelze, wobei gleichzeitig das restliche B und sämtliches A ausfallen.

Anwendung der Hebelregel auf die Mischung L_1 in der Temperaturhöhe T_M: hierzu stellt man sich vor, daß im Punkte P die Kraft x (Schmelze) und am Punkte R die Kraft y (festes B) angreifen. Unterstützungspunkt des Hebels ist der Punkt Q. Es gilt dann:

$$x\,\overline{PQ} = y\,\overline{QR}.$$

Außerdem ist $x + y = 100$. Daraus ergibt sich nach Umformung:

$$x\,(\text{Schmelze}) = 100\,\overline{QR}/\overline{PR} \quad \text{bzw.}$$
$$y\,(\text{festes B}) = 100\,\overline{PQ}/\overline{PR}.$$

2) binäres S. mit einer kongruent schmelzenden Verbindung

Kommt es zwischen den beiden Stoffen A und B zu einer chemischen Verbindung A_mB_n, die unzersetzt schmilzt, so nimmt das entsprechende Diagramm die Form des Bildes 2 an.

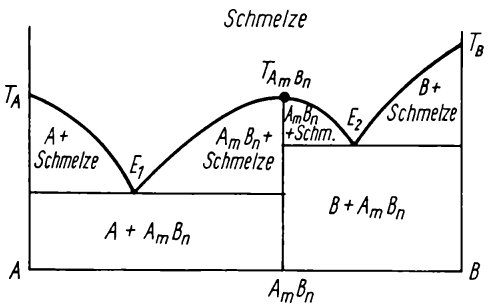


Bild 2. Zweistoffsystem mit einer kongruent schmelzenden Verbindung (Dystektikum)

Die Verbindung A_mB_n verhält sich gegenüber Schmelzerscheinungen genauso wie die reinen Komponenten A und B, d. h., bei Zusatz von A bzw. B wird ihr Schmelzpunkt herabgesetzt. Für dieses Diagramm ist auch die Bezeichnung *binäres S. mit offenem Maximum* oder mit Dystektikum üblich.

3) binäres S. mit einer inkongruent (zersetzt) schmelzenden Verbindung

Wird eine chemische Verbindung, die inkongruent, d. h. unter Zersetzung schmilzt, erwärmt, so läuft beim langsamen Übergang vom festen in den flüssigen Zustand eine Reaktion nach dem Schema

Kristalle $A_mB_n \rightarrow$ Kristalle B + Schmelze

ab.

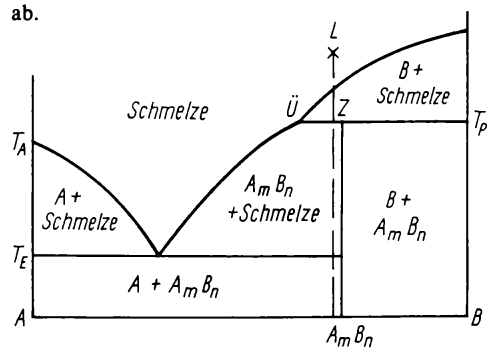


Bild 3. Zweistoffsystem mit verdecktem Maximum (Peritektikum)
Ü Übergangspunkt/peritektischer Punkt
Z Zersetzungspunkt der Verbindung A_mB_n

Wird die Schmelze L abgekühlt, so scheiden sich beim Überschreiten der Liquiduskurve B-Kristalle ab. Hat die Schmelzzusammensetzung in der Temperaturhöhe T_p den Punkt $Ü$ erreicht, so wird sämtliches B resorbiert und zu A_mB_n umgesetzt. Bei weiterer Abkühlung sind zunächst nur Schmelze und A_mB_n existent, bis bei T_E noch festes A hinzukommt (s. Bild 3). Dieser Diagrammtyp ist sehr häufig bei Silicatsystemen zu beobachten. Wegen der geringen Reaktionsgeschwindigkeit der Silicate setzen sich die primär ausgeschiedenen Kristalle sehr langsam zu der inkongruenten Verbindung um, so daß charakteristische Resorptionsstrukturen auftreten: die Primärkristalle sind korrodiert und von Sekundärkristallen umgeben.

4) binäres S. mit Mischkristallbildung

Bei einer großen Anzahl von Stoffen bestehen zwischen den Komponenten A und B kristallchemische Beziehungen, so daß es zu einer Mischkristallbildung kommt. Man unterscheidet:

– lückenlose Mischkristallreihen (s. Bild 4),

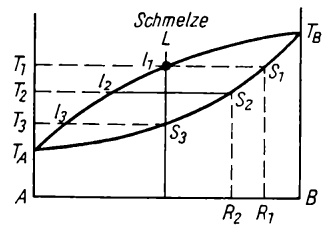


Bild 4. Zweistoffsystem mit Mischkristallbildung

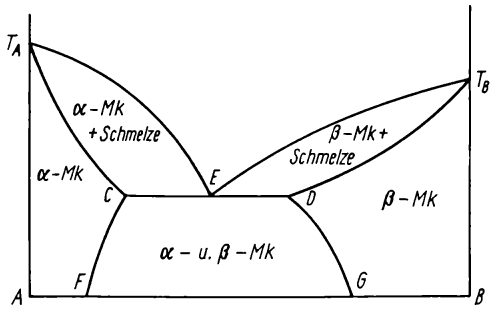


Bild 5. Zweistoffsystem mit Mischkristallbildung, Eutektikum und Mischungslücke
Mk Mischkristalle

– beschränkte Mischkristallbildung (s. Bild 5).
Wird eine Schmelze der Zusammensetzung L abgekühlt, so bilden sich bei Erreichen der Liquiduskurve im Punkte L_1 die ersten Mischkristalle der Zusammensetzung R_1. Bei weiterer Abkühlung deutet schon die Isotherme l_2s_2 an, daß sowohl in der Schmelze als auch im sich bildenden Kristall Konzentrationsveränderungen vor sich gehen müssen. Die Soliduskurve gibt dann jeweils Auskunft über die Zusammensetzung der Mischkristalle, im Bild 4 läuft sie von s_1 über s_2 nach s_3, entsprechend den Temperaturen $T_1 \ldots T_2 \ldots T_3$. Wird die Abkühlung zu schnell geführt und ist die Diffusionsgeschwindigkeit zu gering, so besteht nur zwischen Kristalloberfläche und Schmelze ein Gleichgewicht; die Kristalle weisen dann Zonenaufbau auf.

5) binäres S. mit begrenzter Mischkristallbildung und Eutektikum
Bei Zweistoffsystemen, in denen die Komponenten A und B nur in begrenztem Umfang Mischkristalle miteinander bilden, gibt es folgende Möglichkeiten:
- Auftreten eines Eutektikums (s. Bild 5),
- Auftreten eines Peritektikums (s. dazu nächsten Abschnitt).

Das System setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:
- Einphasengebiete (Gebiet der homogenen Schmelze, Gebiet der α-Mischkristalle $AFCT_A$, Gebiet der β-Mischkristalle $BGDT_B$),
- Zweiphasengebiete (Gebiet der α-Mischkristalle + T_ACE, Gebiet der β-Mischkristalle und Schmelze T_BDE, Gebiet der α- und β-Mischkristalle $FGCD$).

6) binäres S. mit begrenzter Mischkristallbildung und Übergangspunkt
Die Liquiduskurve umfaßt die Strecken $T_AÜT_B$ und die Soliduskurve T_ACDT_B (s. Bild 6).

7) binäres S. mit begrenzter Löslichkeit in flüssiger Phase

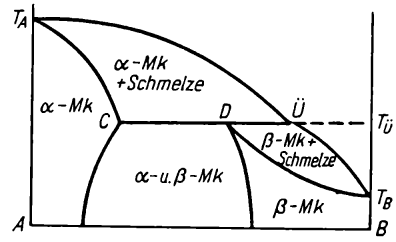


Bild 6. Zweistoffsystem mit Mischkristallbildung, Peritektikum und Mischungslücke

Ähnlich wie sich Mischkristalle im festen Zustand zu einem heterogenen Gemenge entmischen können, beobachtet man häufig bei Silicatsystemen Entmischungen in flüssiger Phase auf der SiO_2-reichen Seite. Da diese Schmelzen meist hochviskos sind, verzögert sich gewöhnlich die Einstellung des Gleichgewichtes. Daher findet man im festen Zustand oft eine emulsionsartige Masse, wobei eine der Phasen (oft sogar beide) glasig vorliegt (s. Bild 7).

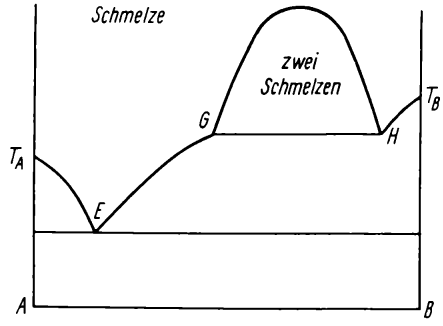


Bild 7. Zweistoffsystem mit begrenzter Löslichkeit in flüssiger Phase

Systeme 3. Ordnung (ternäre Systeme, Dreistoffsysteme) – Für die graphische Darstellung von Dreistoffsystemen benötigt man drei Koordinaten. Am besten lassen sich deshalb ternäre S. durch ein gleichseitiges Dreieck wiedergeben, wobei die Eckpunkte jeweils den reinen Stoffen A, B, C und die Dreieckseiten den drei Zweistoffsyste-

men AB, AC und BC zugeordnet werden. Im Innern des Dreiecks ist jeder Punkt durch eine bestimmte prozentuale Zusammensetzung an A, B und C gekennzeichnet (s. Bild 1).

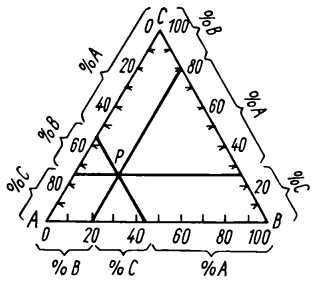


Bild 1. Prozentuale Zusammensetzung im Dreistoffsystem

Die Zusammensetzung des Punktes P findet man, indem man durch den Punkt P 3 Geraden parallel zu den Dreiecksseiten zieht. An den Seiten sind die %-Anteile des Punktes abzulesen. Ihre Summe $(A + B + C)$ ergänzt sich zu 100 %.

Bei der Darstellung des Zustandsdiagramms von drei Komponenten unterscheidet man folgende graphische Elemente:

- Primärfelder, d. h. Felder der primären Bildung einer kristallinen Phase. Diese Felder entsprechen einem divarianten Zustand des Systems,
- Feldgrenzen, die die Primärfelder begrenzen. Ihnen entsprechen monovariante Zustände des Systems,
- invariante Schnittpunkte von drei Feldergrenzen, an denen drei kristalline Phasen und eine Schmelze im Gleichgewicht stehen.

Punkte gleicher Liquidustemperatur sind durch Isothermen verbunden. Meist werden die Feldergrenzen mit Pfeilspitzen versehen, die die Richtungen fallender Temperatur anzeigen.

1) Dreistoffsystem ohne Verbindungsbildung

Ein Dreistoffsystem, in dem die drei Komponenten A, B und C keine Verbindung eingehen oder Mischkristalle bilden, stellt den einfachsten Typ dar (s. Bild 2).

Das Zustandsdiagramm besteht aus den drei Stabilitätsfeldern $A_1E_1TE_3$, CE_2TE_1 und BE_3TE_2 der Komponenten A, B und C. Innerhalb dieser Felder erfolgt die primäre Kristallisation der betreffenden Komponente. Um die Kristallisation einer Schmelze zu verfolgen – in unserem Beispiel die Zusammensetzung a_1 –, verbindet man den

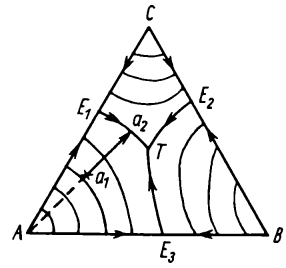


Bild 2. Dreistoffsystem mit Eutektikum

Punkt a_1 mit dem Punkt des Primärfeldes, der den höchsten Schmelzpunkt hat. Die Verlängerung der Geraden Aa_1 über a_1 hinaus gibt die Kristallisationsbahn des Stoffes A an.

Hat die Schmelze die Zusammensetzung a_2 auf der eutektischen Linie E_1T erreicht, kristallisieren gleichzeitig die Stoffe A und C aus, wobei sich die Schmelze in Richtung T, des tiefsten Punktes des Systems, bewegt. Dort erstarrt die Restschmelze. Gleichzeitig werden die Stoffe A, B und C ausgeschieden. Mit Hilfe der sog. *Schwerpunktbeziehungen* lassen sich auch quantitative Aussagen über die ausgeschiedenen Mengen zweier Komponenten und der Schmelze machen (s. Bild 3).

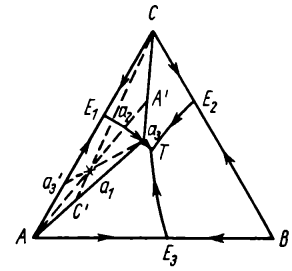


Bild 3. Dreistoffsystem mit Eutektikum (Die Isothermen sind aus Gründen der besseren Übersicht weggelassen worden.)

Hat die Menge Schmelze die Zusammensetzung a_3 erreicht, so verbinden wir a_3 mit den beiden Ekken A und C und erhalten das ΔACa_3. Die Ausgangsschmelze a_1 wird als Unterstützungspunkt des Dreiecks betrachtet. Um das Dreieck im Gleichgewicht zu halten, müssen wir an den drei Ecken Massen anbringen. Die angehängten Massen lassen sich als Mengen auffassen, es gelten folgende Beziehungen:

$$\mathrm{A:C:Schmelze}\ a_3 = \frac{a_1A'}{AA'} : \frac{C'a_1}{C'C} : \frac{a_3'a_1}{a_3'a_3},$$

d. h., der Komplex a_1 besteht bei der Temperatur des Punktes a_3 aus

$$\frac{A'a_1}{A'A} \cdot 100\,\% \text{ Kristallen } A,$$

$$\frac{C'a_1}{C'C} \cdot 100\,\% \text{ Kristallen } C \text{ und}$$

$$\frac{a_3'a_1}{a'_3a_3} \cdot 100\,\% \text{ Schmelze } a_3.$$

2) Dreistoffsysteme mit binären kongruent schmelzenden Verbindungen

Existieren in einem Dreistoffsystem kongruent (unzersetzt) schmelzende Verbindungen aus zwei Komponenten des Systems, so treten im Dreieck auch Stabilitätsfelder der entsprechenden Verbindungen auf, die beim Abkühlen der Schmelzen primär auskristallisieren (s. Bild 4).

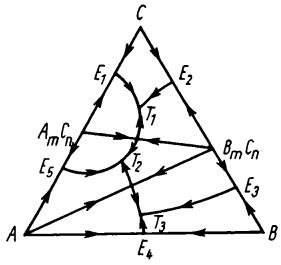


Bild 4. Dreistoffsystem mit binären Verbindungen

Das Bild enthält die binären Verbindungen A_mC_n und B_mC_n; A_mC_n bedingt die beiden Eutektika E_1 und E_5 auf der Dreiecksseite AC und B_mC_n die Eutektika E_2 und E_3 auf der Dreiecksseite CB. Gegenüber dem Bild 3 sind hier drei ternäre Eutektika T_1, T_2 und T_3 vorhanden, da auf Grund des Phasengesetzes in einem Dreistoffsystem außer der Schmelze höchstens drei feste Phasen auftreten dürfen.

Die Geraden $A_mC_n - B_mC_n$ und $A - B_mC_n$ werden als Konjugationslinien bezeichnet. Konjugationslinien sind Verbindungen zwischen zwei Hochpunkten der Temperatur, die nur eine eutektische Linie schneiden dürfen. Der Schnittpunkt der Konjugationslinie mit der eutektischen Linie ist für die Konjugationslinie ein Minimalpunkt der Temperatur, für die eutektische Linie ein Maximalpunkt (Theorem von *Ryn van Alkemade*).

3) Dreistoffsysteme mit inkongruent schmelzenden Verbindungen

Bei einer chemischen Verbindung A_mB_n, deren Primärausscheidungsfeld überdeckt ist, läuft beim Erhitzen eine Reaktion in der Art $A_mB_n \rightarrow A$ + Schmelze ab. Solche Zersetzungen sind auch im Dreistoffsystem möglich. Typisch für diese Verbindungen ist, daß sie im Primärausscheidungsfeld einer anderen Verbindung liegen. Wird eine entsprechende Schmelze abgekühlt, so scheidet sich eine Kristallart ab, die später resorbiert und zu einer neuen Kristallart umgesetzt wird. Handelt es sich bei einem Zweistoffsystem um einen Temperaturpunkt, so findet diese Umsetzung im Dreistoffsystem in einem Temperaturintervall statt, da hier das Gleichgewicht zwischen zwei festen Phasen und einer Schmelze einem monovarianten Zustand entspricht.

Im Bild 5 liegt die Verbindung F (= A_mB_n) im Primärfeld A. Die imaginäre Konjugationslinie FC teilt das Dreieck ABC in die beiden Teildreiecke AFC und BFC. Verbindungen, die im Teildreieck ACF liegen, bestehen aus den Phasen A, C und A_mB_n, denn für sie ist die Kristallisationsbahn im Punkt G zu Ende. Verbindungen, die im Teildreieck FCB liegen, setzen sich aus den Phasen B, C und A_mB_n zusammen, für sie endet die Kristallisationsbahn im ternären Eutektikum T. Die Konjugationslinie CF wird als imaginär bezeichnet, weil die Verbindungen C und A_mB_n in diesem Abschnitt keine gemeinsame Feldgrenze haben. Der Punkt G ist deshalb auch kein eutektischer Punkt, wie auch aus den Pfeilspitzen zu entnehmen ist, sondern er stellt ein neues Element dar, einen Gabelpunkt. Im Gabelpunkt vollzieht sich folgende Reaktion A + Schmelze $\rightarrow C + A_mB_n$. Ähnliche Umsetzungen verlaufen auch auf der Feldgrenze UG. Sämtliche Kristallisationsbahnen, die auf diese durch Doppelpfeil gekennzeichnete Linie treffen, erfahren die Veränderung

A + Schmelze $\rightarrow A_mB_n$ + Schmelze.

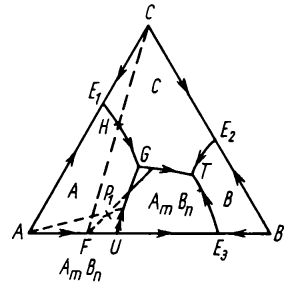


Bild 5. Dreistoffsystem mit Gabelpunkt

Dazu als Beispiel die Auskristallisation der Schmelze P_1: Zunächst scheidet sich die Kristallart A aus, bis die Linie UG erreicht wird. Dann läuft die Kristallisationsbahn ein Stück auf der Linie UG, dabei werden die ausgeschiedenen A-Kristalle resorbiert. Sind alle A-Kristalle verzehrt, tritt die Kristallisationsbahn in das Primärfeld A_mB_n ein. Jetzt existiert nur A_mB_n. Mit Erreichen der eutektischen Linie GT kommt die Kristallart C dazu. Das Endprodukt der Schmelze P_1 besteht dann aus A_mB_n, C und B. Konjugationslinien in Dreistoffsystemen können sowohl binäre Systeme darstellen als auch pseudobinäre Eigenschaften aufweisen.

4) Dreistoffsysteme mit ternären Verbindungen

Ternäre Verbindungen können kongruent (Bild 6) und inkongruent (Bild 7) schmelzen. Im Bild 6

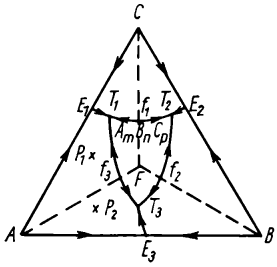


Bild 6. Dreistoffsystem mit einer kongruent schmelzenden ternären Verbindung

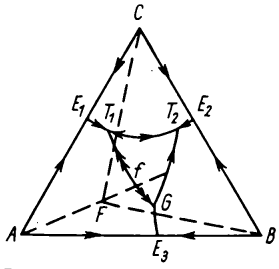


Bild 7. Dreistoffsystem mit einer ternären inkongruent schmelzenden Verbindung

stellt das Feld $T_1T_2T_3$ das Primärausscheidungsfeld F (= $A_mB_nC_p$) dar. Mit Hilfe des Theorems von *Ryn van Alkemade* läßt sich die Kristallisationsbahn bestimmen: So läuft z. B. eine Schmelze der Zusammensetzung P_1 auf die eutektische Linie f_3T_1 zu und besteht nach völliger Erstarrung im ternären Eutektikum T_1 aus den Komponenten A, C und F, und die Schmelze P_2 setzt sich nach Erstarrung im ternären Eutektikum T_3 aus A, B und F zusammen. Im Bild 7 wird das Temperaturmaximum F der Verbindung $A_mB_nC_p$ von der Ausscheidungsfläche der Verbindung A überdeckt, d.h., kristallisiert z.B. eine Schmelze F aus, so scheiden sich zunächst nur A-Kristalle ab, dabei läuft die Schmelze auf der Linie AF in Richtung f. Im Punkt f (Linie mit Doppelpfeilen) wird bei der Einstellung des Gleichgewichts das ausgeschiedene A wieder resorbiert und zur Verbindung $A_mB_nC_p$ umgesetzt. Falls die A-Kristalle nur langsam mit der Restschmelze reagieren, durchstößt die Kristallisationsbahn das Feld $A_mB_nC_p$ bis zur kongruenten Feldergrenze GT_2, um im ternären Eutektikum T_2 zu erstarren. Ähnlich wie bei den binären inkongruenten Verbindungen im Dreistoffsystem stellt die Linie AF nur eine imaginäre Konjugationslinie (f ist Temperaturmaximum) dar, während die Schnitte FB und FC pseudobinäre Systeme sind.

Systeme, disperse (griech.: systema = Zusammenstellung; lat.: dispergere = zerteilen) – *Gemische, in denen ein Stoff in einem anderen verteilt ist.* Der verteilte Stoff heißt *disperse Phase* oder *dispergierte Substanz.* Das Medium, in dem sich diese Substanz befindet, wird als *Dispersionsmittel* bezeichnet.

Entsprechend ihrer Größe unterteilt man die dispersen S. in:

	Grobdisperse Systeme	Kolloiddisperse Systeme	Feindisperse Systeme (ionen- oder molekulardispers)
Zahl der Atome im Teilchen	$>10^9$	$10^9 \ldots 10^3$	$10^3 \ldots 2$
Teilchengröße	>500 nm	500...1 nm	<1 nm
	zunehmender Dispersitätsgrad		

Jedes disperse S. zeigt charakteristische Eigenschaften, mit deren Hilfe eine Unterscheidung möglich ist. Dazu dient sein Verhalten beim Sedimentieren, Filtrieren, Diffundieren, Dialysieren,

beim mikroskopischen Betrachten und bei der Einwirkung von elektrischen Feldern. [2]
s. Kolloide

Eigenschaften disperser Systeme

Art des dispersen S.	Grob-disperses S.	Kolloid-disperses S.	Fein-disperses S.
Dispersionsmittel: flüssig disperse Phase: fest	Suspension	Sol	echte Lösung
Sedimentation	+	1)	–
Filtration*	+ (durch Papierfilter)	+ (durch Ultrafilter)	–
Diffusion*	–	evtl. nur gering	+
Dialyse	–	–	+
Lichtkegel	sichtbar	Tyndall-Effekt	optisch leer
Lichtmikroskop*	+	nur im Ultramikroskop	–
elektrisches Feld	–	Elektrophorese*	Elektrolyse*

1) Die Grenze der feststellbaren Sedimentation liegt bei etwa 0,1 µm.

T

Tabulartonerde (lat.: tabula = Tafel) – *flächige, hochgesinterte Spezialtonerde mit Al_2O_3-Gehalten >99% der Firma ALCOA* (Aluminium Company of America), die besonders zur Herstellung von Feuerfesterzeugnissen für hohe Anwendungstemperaturen geeignet ist.
Kugeln mit einem Durchmesser von 15 bis 20 mm aus calcinierter Tonerde werden bis dicht unter den Schmelzpunkt des Al_2O_3 erhitzt, dabei wachsen die Korundkristalle auf das 30- bis 40fache ihrer Ausgangskorngröße und nehmen einen tafeligen Habitus an. Der erreichte Zustand ist weitgehend porenfrei, so daß bei hohen Einsatztemperaturen kein Nachschwinden mehr erfolgt. Vor der Verarbeitung erfolgt noch eine Feinmahlung. T. zeichnet sich insbesondere durch hohe Korrosionsbeständigkeit und gute *TWB* aus.

Tagebau – *die Gewinnung von Tonen und Kaolinen, die nahe an der Oberfläche liegen.* Die Beseitigung des Abraums (der oben lagernden Erdschichten) erfolgt mit Schrapper und Bagger, die eigentliche Gewinnung mit Hilfe von Großmaschinen, wie Eimerketten- und Löffelbaggern, Kugelschauflern. Die nutzbaren Schichten des Tones sind oft unregelmäßig, mit Mächtigkeiten von 1 bis 10 m. Der Abtransport der abgebauten Tone und Kaoline erfolgt in Loren, Motorfahrzeugen mit Kippvorrichtungen, Großraumwagen, kontinuierlich arbeitenden Förderbändern u. a.

Talk ($Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ oder $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$)
Kristallographie: monoklin
T. zeigt gewöhnlich schieferige, schuppige oder blätterige Struktur. Daneben gibt es noch körnige Aggregate, die als *Speckstein* bezeichnet werden.
Physikalische Eigenschaften: blaßgrün, weiß mit bräunlicher Tönung; $D = 2{,}7$ bis $2{,}8\ g\,cm^{-3}$; $H = 1$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}538$ bis 1,545, $n_\gamma = 1{,}575$ bis 1,590
T. und Speckstein sind die Hauptrohstoffe des Steatits. Die Blättchenstruktur des T. bereitet Schwierigkeiten bei der Verarbeitung (Ausrichten der Teilchen bei der Formgebung). Sie werden durch Vorbrennen des T. bei etwa 1400 °C beseitigt. Speckstein weist diese Nachteile nicht auf. Zusätze von T. zur Kapselschamotte verbessern die *TWB.*

Tastschnittgerät – *mechanisch-elektronisches Oberflächenmeßgerät, das technische Oberflächen abtastet,* dabei Gestaltabweichungen* erster bis fünfter Ordnung erfaßt, die ertasteten Profile aufzeichnet und die wichtigsten Maße der Gestaltabweichung errechnet. Mit Hilfe von zwei Tastorganen (Nadel und Kufe) wird die Oberfläche eines Prüflings horizontal abgetastet. Dabei erfahren die Tastorgane, die jeweils mit einem Hebelsystem verbunden sind, eine mehr oder weniger große Vertikalauslenkung. Als Bezugsprofil dient eine im Meßschlitten eingebaute Fremdführung oder die von der Kufe beim Abtasten des Prüflings erzeugte Hüllkurve. Die Fremdführung ist eine exakte Geradführung, die die Funktion des geometrisch-idealen Profils übernimmt.
Durch Variation des Kufenradius lassen sich Feinheiten der Oberfläche unterdrücken (mechanische Filterung), so daß Formfehler (Abweichungen von

der Geraden) und Welligkeit* getrennt erfaßbar sind. Die beiden Tastorgane können unabhängig voneinander oder gemeinsam zum Abtasten des Prüflings arbeiten. Je nach Wahl des Bezugsprofils sind folgende Oberflächenprofile des Prüflings erfaßbar:

- Istprofil – die Vertikalauslenkung der Tastnadel, bezogen auf die Fremdführung; es werden Formfehler, Welligkeit und Rauheit gemeinsam erfaßt.
- Hüllprofil – die Vertikalauslenkung der Tastkufe, bezogen auf die Fremdführung; es werden Formfehler und Welligkeit gemeinsam erfaßt.
- Rauheit (Oberflächenrauhigkeit*) – die Differenz der Vertikalauslenkungen von Tastnadel und Tastkufe; dabei stützt sich die Kufe auf der Oberfläche ab, auf diese Weise wird die Welligkeit mehr oder weniger herausgefiltert; man erhält also die Differenz zwischen Ist- und Hüllprofil.

T. weisen etwa folgende Daten auf:

- Meßstrecke 0 bis 100 mm,
- Meßbereiche ±0,5 bis ±200 µm,
- Vertikalvergrößerung 250- bis 50 000fach,
- Horizontalvergrößerung 1- bis 1 000fach,
- Skalenwerte für R_t, W_t: 0,01 bis 4 µm,
- Skalenwerte für R_a: 0,002 bis 0,8 µm.

[441, 443]

s. Oberflächenrauhigkeit, Welligkeit, Oberflächenrauhigkeitsmessung, Perthometer

Tauchen – *von Hand oder maschinelles Einbringen und kurzzeitiges Verweilen von hartgetrockneten oder geglühten Formlingen in Glasursuspensionen zum Zwecke des Ansaugens (Anlagerns) einer dünnen Schicht der Glasur.* Getaucht werden meist nur noch große oder kompliziert aufgebaute Artikel. Von Glasurschlicker freizuhaltende Stellen werden vorher mit Paraffin abgedeckt.

Gelegentlich werden in Ziegeleien die noch warmen Ziegel in Wasser getaucht, um durch die Rohstoffe eingeführten Kalk abzulöschen und gleichmäßig im Innern des Ziegels zu verteilen.

Taupunkt – *die Temperatur, bei der durch Abkühlung aus einem Gasgemisch die erste Komponente kondensiert.* Bei feuchter Luft bildet sich am T. Nebel (Wassertröpfchen) oder Eis. Aus dem T. läßt sich die Luftfeuchtigkeit bestimmen. Dazu kühlt man die zu untersuchende Luft der Temperatur T_1 bis zum T. ab, der bei T_2 liegen soll. Unter Berücksichtigung der Volumenänderung durch Abkühlung gilt dann für die absolute Feuchtigkeit f_{T_1} die Gleichung

$$f_{T_1} = f_{T_2}(T_2/T_1).$$

Die Temperaturen sind in K zu messen. Die absolute Feuchtigkeit beim T. ist dann Tabellen zu entnehmen.

Technologie, keramische (griech.: techne = Kunst, Handwerk) – *Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten der industriellen keramischen Produktionsvorgänge.* Sie wird durch vier modifizierte Abschnitte charakterisiert:

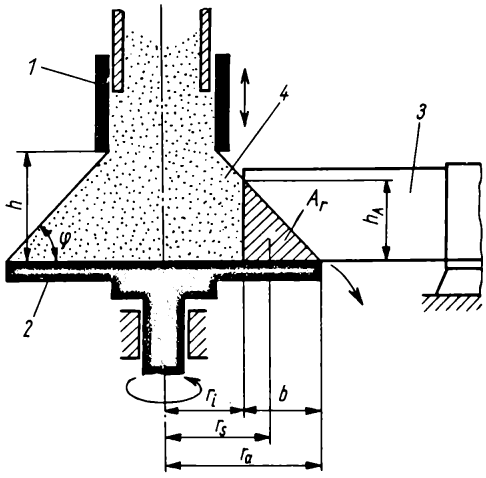
- Die Aufbereitung* – sie stellt aus geeigneten Roh- und Hilfsstoffen nach vorgegebener Rezeptur (dem sog. Versatz*) die Arbeitsmasse her;
- die Formgebung* – sie überführt die Arbeitsmasse durch Pressen*, Gießen* oder bildsame Formgebung* entsprechend der vorgesehenen späteren Verwendung in die erforderliche Geometrie;
- die Sinterung* – hier erhält der Formling durch Wärmeeinwirkung seine eigentlichen Gebrauchswerteigenschaften;
- die Nachbearbeitung, d. h. die Gestaltung der Oberfläche*, z. B. durch Dekoration oder Verbesserung der Abmessungen durch Schleifen* bzw. Zusammenstellen der Formstücke zu Funktionseinheiten u. a.

Teerdolomiterzeugnisse – *auf der Basis von Teer und Sinterdolomit (Schachtofen, Drehrohrofen) hergestellte Massen und Steine für die stahlerzeugende Industrie.* Der auf etwa 150 °C erwärmte Dolomit wird mit Teer vermischt, wobei ein Teil des Teers kapillar in die Poren des Dolomits eindringt und der Rest zwischen den Körnern verbleibt. Die Teermenge muß so bemessen sein, daß der intergranulare Anteil an Teer zur vollständigen Einbindung des Dolomits ausreicht, d. h. für eine gute Gleitung der Körner beim Stampfen oder Pressen sorgt und noch Schutz gegen Witterungseinflüsse gewährt. Beim Erhitzen während des Einsatzes laufen verschiedene Polymerisationsvorgänge im Teer ab. Bei schnellem Erhitzen auf etwa 1 300 °C bildet sich aus dem Teer graphitähnlicher Kohlenstoff, der wegen seiner hohen Festigkeit die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung und wegen seiner hohen Temperaturleitfähigkeit örtliche Überhitzungen verhindert. T. werden insbesondere in Konvertern eingesetzt.

Teilchen – *Substanzelemente eines Stoffes.* Diskrete T. oder Partikeln sind die wesentlichen Elemente disperser Systeme* und können als T. von Festkörpern* (sog. Körner), von Flüssigkeiten (sog. Tropfen) oder von Gasen (sog. Blasen) in allen Größenordnungen (Atome, Moleküle, Kolloide* oder grobdisperse T.) auftreten. Gelegentlich wird der Begriff T. im Sinne von Korpuskeln als Gegensatz zur Welle gebraucht.

Teilstrahlungspyrometer – *s.* Glühfadenpyrometer

Telleraufgeber – *durch Fördergleichmäßigkeit und Selbstreinigung ausgezeichnetes Dosiergerät für mittlere bis feinste, trockene und feuchte Körnungen.* An eine kreisförmige Bunkeraustrittsöffnung (s. Bild) schließt sich ein höhenverstellbarer Tele-



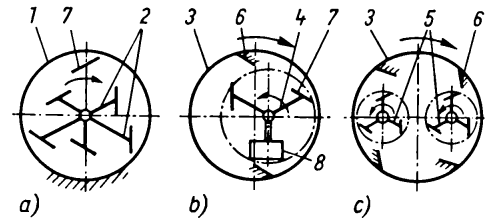
Telleraufgeber
1 Teleskopstutzen
2 Drehteller
3 Schrägabstreifer
4 Schüttgutkegel
b Gutstrombreite
h Schütthöhe

skopstutzen (*1*) an, durch den das Fördergut auf den Teller (*2*) fällt. Mit Hilfe des verstellbaren Schrägabstreifers (*3*) wird vom Schüttgutkegel (*4*) ein Materialstrom kontinuierlich abgetrennt. Außer der Höhenverstellung des Teleskopstutzens und dem seitlichen Verstellen des Abstreifers kann die Fördermenge Q noch durch Verändern der Drehzahl gesteuert werden. T. bewegen sich bei Tellerdurchmessern von 750 bis 2 000 mm und Fördermengen von 4 bis 10 $m^3\,h^{-1}$. Der Durchsatz (in $m^3\,h^{-1}$) wird berechnet nach

$$Q = 120\,\pi A_r r_s n.$$

A_r Schüttfläche eines Radialabschnittes (in m^2)
r_s Schwerpunktradius von A_r (in m)
n Drehzahl des Tellers (in min^{-1}).

Tellermischer – *Mischgerät zur intensiven Vermischung von Pulvern* (s. Bild). Über einem rotie-



Typen von Tellermischern
a) für leicht mischbares Gut
b) und *c*) für mischschwieriges Gut
1 feststehender Teller
2 drehender Mischstern
3 rotierender Teller
4, 5 gegenläufig zum Teller drehende Mischsterne
6 ortsfeste Randabstreicher
7 Mischscharen
8 Koller

renden Mischteller drehen sich Mischwerkzeuge, sog. Mischsterne, in entgegengesetzter Richtung. Für leichtmischbares Gut bestehen die Mischwerkzeuge nur aus Schabern; für mischschwieriges Gut enthält jeder Stern noch ein oder zwei kleine Kollerläufer. Die Mischwerkzeuge drehen sich um eine senkrechte Achse und sind heb- und senkbar, so daß die Körnung des Mischgutes nicht zerstört wird. Das durch einen Kübelaufzug eingebrachte Mischgut wird durch die gegenläufige Drehung des Tellers und der Mischwerkzeuge im Zusammenwirken mit den feststehenden Räumern bereits bei einer Umdrehung des Tellers erfaßt, so daß sehr rasch eine gründliche Durchmischung erreicht wird. Das gemischte Gut wird nach der erforderlichen Mischzeit durch eine von außen bedienbare Bodenklappe entleert. Bei Trokkenbetrieb müssen Staubschutzhauben angebracht werden. [111, 112]

Temperatur – *eine Intensitätsgröße, die den Wärmezustand eines Systems beschreibt.* Die Einheit der Temperatur ist das Kelvin K, es ist der 273,15te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser. Die Differenz aus einer Temperatur T und der Temperatur $T_0 = 273{,}15$ K wird als Celsius-Temperatur ϑ geführt:

$$\vartheta = (T - 273{,}15\ \mathrm{K})\ ^\circ\mathrm{C}.$$

Die heute gültige Internationale Praktische Temperaturskala von 1968 (IPTS-68) beruht auf reproduzierbaren Gleichgewichtszuständen (Fixpunkte), denen definierte Temperaturwerte zugeordnet sind, z. B.:

- Siedepunkt des Wasserstoffs H_2: 20,28 K (= −252,87 °C)
- Siedepunkt des Sauerstoffs O_2: 90,18 K (= −182,96 °C)
- Tripelpunkt des Wassers: 273,15 K (= 0,010 °C)
- Siedepunkt des Wassers: 373,15 K (= 100 °C)
- Erstarrungspunkt des Zinns: 505,11 K (= 231,96 °C)
- Erstarrungspunkt des Silbers: 1 235,08 K (= 961,93 °C)
- Erstarrungspunkt des Goldes: 1 337,58 K (= 1 064,43 °C).

Temperaturbeständigkeit – *ein nicht genauer definiertes Verhalten der keramischen Werkstoffe bei höheren Temperaturen.* Physikalisch bzw. technisch klar umrissen sind linearer Ausdehnungskoeffizient (*AK*), Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, *TWB*, Wärmeübergang u. a. Im Sprachgebrauch werden unter T. verschiedene Verhaltensweisen der Festigkeit bei höheren Temperaturen verstanden; meist bezieht man sich dabei auf einzelne Komponenten des Scherbens bzw. leitet davon die Verhaltensweise ab.

1) Glasphase

Mit steigender Temperatur tritt eine Erweichung ein. Deshalb verlieren viele Werkstoffe schon bei Rotglut erheblich an mechanischer Festigkeit. Ein einseitig eingespannter Porzellanstab biegt sich frei bei etwa 650 °C leicht durch, bei etwa 800 °C merklich und bei 1 100 °C beträchtlich. Zusätze von Al_2O_3 verschieben die Erweichung nach höheren Temperaturen. Eine Glasur entspannt sich bei 600 bis 700 °C. Die Glasur eines Hartporzellans ist jedoch bei 1 000 °C meist noch fest genug, um nicht zu kleben.

2) Kristalle

Auch Kristalle büßen weit unterhalb ihres Schmelzpunktes stark an Festigkeit ein.

3) Poren

Während geringe Porenanteile (kleine und isolierte Poren) keine nennenswerten Schwachstellen bedeuten (z. B. ist Porzellan bei 1 300 °C noch gasdicht, einige hochtonerdehaltige Erzeugnisse sind bei 1 500 °C noch vakuumdicht), liegen die Verhältnisse bei größeren Porenanteilen wesentlich anders. So werden Wärmeleitung, Wärmestrahlung, Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit (Verschlackung) stark beeinflußt. Poren setzen die Wärmespannungsfaktoren stark herab (die öfters beobachtete Erscheinung, daß einige ff. Werkstoffe bei etwa 20 Vol.-% Poren ein Maximum der *TWB* aufweisen, hat ihre Ursache darin, daß Spannungen und Risse in den Poren abgefangen werden).

Mit steigender Temperatur vermindern sich die elektrischen Parameter (Isolationsfestigkeit, Durchschlagfestigkeit, dielektrischer Verlustfaktor u. a.) bedeutend.

Temperaturkoeffizient – *relative Änderung einer physikalischen Größe bei Änderung der Temperatur um 1 K.* Läßt sich eine physikalische Meßgröße A in einem begrenzten Temperaturbereich Δt näherungsweise durch die Beziehung

$$A(t) = A(t_0)\,(1 + \alpha\,(t - t_0))$$

wiedergeben, so ist α der T. für die Meßgröße A (in K^{-1}).

Ein einfacher linearer Zusammenhang liegt im allg. nur in einem begrenzten Temperaturintervall vor.

Temperaturleitfähigkeit (Temperaturleitzahl *a*) – *charakteristische Stoffeigenschaft,* die für die Geschwindigkeit des Temperaturausgleichs bestimmend ist. In der Wärmeleitungsgleichung ist sie definiert als

$$a = \frac{\lambda}{\varrho\, c}$$

λ Wärmeleitfähigkeit
ϱ Dichte
c spezifische Wärme.

So beträgt die T. z. B. für

Wasser (bei 20 °C)	$1{,}4 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$,
Luft	$187 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$,
Wasserstoff	$1\,390 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$.
Porzellan	8 bis $10 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$
Schamotte	3 bis $10 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$
Ziegel	$\approx 5 \cdot 10^{-7}\,m^2\,s^{-1}$.

Temperaturmessung (lat.: temperare = richtig abmessen, wärmen, ordnen) – *wichtigste meßtechnische Aufgabe bei allen Prozessen, bei denen Wärmeumsetzungen stattfinden.* In der Keramik sind das insbesondere Trockenprozesse und der Sintervorgang* mit den dabei ablaufenden physikalisch-

chemischen Reaktionen und thermischen Dissoziationen*.
Zur T. werden in der Keramik Thermoelemente*, Strahlungspyrometer*, die Schmelzpunkte chemisch reiner Stoffe [515] und *Seger*-* bzw. Pyrometerkegel* herangezogen.

Temperaturwechselbeständigkeit (*TWB*) – *Widerstand bzw. Festigkeit keramischer Körper gegen Zerstörung durch schroffen Temperaturwechsel.*
Zur Durchführung der Prüfung auf *TWB* werden feuerfeste Werkstoffe 50 min bei 950 °C bzw. säurebeständige Werkstoffe bei 450 °C gehalten, aus dem Ofen genommen und 3 min in fließendes Wasser von 10 bis 20 °C getaucht. Nach einer Abdampfzeit von 5 min wird der Versuch wiederholt. Der Versuch gilt als beendet, wenn 50 % der Kopffläche des Prüflings abgeplatzt sind. Feinkeramische Werkstoffe werden 20 min bei 100 °C in einem geeigneten Wärmeschrank gehalten und anschließend 5 min in fließendes Wasser gegeben. Nach jeder Prüfung ist die Prüftemperatur schrittweise um 10 K zu erhöhen bis zur Beschädigung der Prüflinge. Die Zerstörung der keramischen Körper wird durch Spannungen verursacht, die sich infolge der thermischen Ausdehnung der den Körper aufbauenden Teilchen im Zusammenhang mit dem Temperaturgefälle im Innern des Körpers ausbilden.
Nimmt man nach *Haase* einen einachsigen Spannungszustand an, dann beträgt die Abschreckfestigkeit, d.h. die Temperaturdifferenz T_{max}, die ein keramischer Körper gerade noch verträgt, ohne zu reißen:

$$\Delta T_{max} = \sigma_z(\alpha E)$$

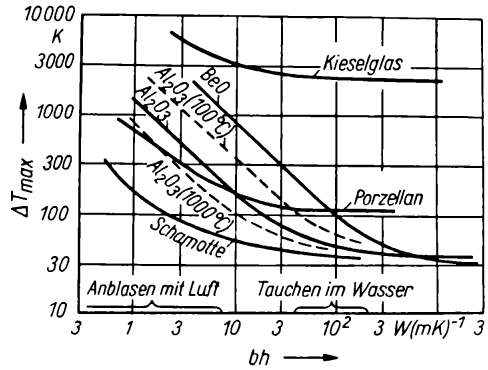
σ_z Zugfestigkeit des Materials
E Elastizitätsmodul
α Ausdehnungskoeffizient.

Unter Berücksichtigung des zweiachsigen Spannungszustandes erhält man in Abhängigkeit von der Größe des Wärmeübergangs zwischen äußerem Medium und keramischem Körper ein unterschiedliches Spannungsfeld. Wird der Körper in Wasser getaucht (Wärmeübergangszahl $h \approx 0{,}84$ J (cm² s K)$^{-1}$), so bildet sich wegen der relativ kleinen Wärmeleitung zwischen Oberfläche und der darunterliegenden Körperschicht ein großer Temperaturunterschied aus. Beim Abkühlen an Luft ($h \approx 0{,}000\,84$ J (cm² s K)$^{-1}$) ist der Wärmeübergang gering, und es findet ein Temperaturausgleich statt, d.h., die *TWB* ist abhängig von der Temperaturleitfähigkeit.
Bei großer Wärmeübergangszahl h entstehen an der Oberfläche Spannungen:

$$\sigma = \frac{\alpha E}{1-\mu}(T - T_k)$$

T Anfangstemperatur des Körpers (Durchschnitt)
T_k Oberflächentemperatur
μ Querzahl (s. Elastizitätskonstante).

Überschreiten die Spannungen σ die Zugfestigkeit σ_z, tritt Werkstoffminderung bzw. Bruch ein (s. Bild). Für die Abschreckfestigkeit ergibt sich



Maximale Abschrecktemperaturen einiger Werkstoffe in Abhängigkeit von der Wärmeübergangszahl h nach *Kingery* (b Abstand von Probenmitte; berechnet bei 400 °C, für Al_2O_3 auch bei 100 und 1 000 °C)

$$\Delta T_{max} = \frac{\sigma_z(1-\mu)}{\alpha E} \equiv R$$

R ist eine Materialkonstante (unabhängig von Körpergröße und -form) und wird als erster Wärmespannungsfaktor bezeichnet.
Bei kleinen h-Werten geht ein geometrischer Faktor C ein, als Abschreckfestigkeit wird erhalten:

$$\Delta T_{max} = \frac{\sigma_z(1-\mu)\lambda C}{a E h} = R'\frac{C}{h}.$$

worin $R'(= R\lambda)$ den zweiten Wärmespannungsfaktor darstellt. R' liegt für alle keramischen Werkstoffe im Bereich 4 bis 20 J (cm s)$^{-1}$.
Außerdem wird in der Literatur noch ein dritter Wärmespannungsfaktor

$$R'' = \frac{\sigma_z(1-\mu)\lambda}{\alpha E c}$$

c spezifischeWärmekapazität
ϱ Reindichte

diskutiert, der sich aus $R'/c\varrho$ ergibt.
R'' wird zur Berechnung der maximalen Abkühlgeschwindigkeit herangezogen.

Allgemein ist eine gute *TWB* zu erwarten, wenn das Material
- eine geringe thermische Ausdehnung,
- eine hohe Wärmeleitfähigkeit,
- eine hohe Kerbfestigkeit

aufweist.
Thermische Ausdehnung und Wärmeleitfähigkeit werden im wesentlichen von der Phasenzusammensetzung und -verteilung bestimmt, dagegen hängt die Kerbfestigkeit in hohem Maße vom Sintergrad ab. [94, 133, 143, 144, 168]

Temperöfen
1) Anlagen zur allmählichen Temperaturangleichung aus heißen Öfen kommender wärmeempfindlicher Erzeugnisse (Gläser, Emails u. a.) an niedere Temperatur
2) gasbefeuerte Rechtecköfen zum langsamen und gleichmäßigen Erwärmen von Glashäfen, Schmelztiegeln u. a.
Ein Verweilen der Gegenstände in T. vermindert Kühlspannungen bzw. Wärmespannungen und erhöht u. U. den Anteil an kristallinen Phasen.

Tenside (grenzflächenaktive Stoffe, Surfactans; lat.: tendere = spannen) – *organische Verbindungen, die auf Grund ihres Molekülbaues befähigt sind, die Grenzflächen- bzw. Oberflächenspannung* von Feststoffen und Flüssigkeiten zu verringern.* T. bestehen meist aus einem hydrophoben Rest (z. B. eine Kohlenwasserstoffkette mit 10 bis 18 Kohlenstoffatomen) und einer hydrophilen Gruppe (z. B. —COOMe, —OSO_3Me, —NH_2 u. a.). Nach ihrer Konstitution werden T. eingeteilt in:
1) anionenaktive Stoffe
Hier liegt die hydrophobe Gruppe beim Anion, dazu zählen die Salze der Carbonsäuren, Salze saurer Schwefelsäureester und die Salze echter Sulfonsäuren.
2) kationenaktive Stoffe
Hier steht die hydrophobe Gruppe beim Kation; dazu zählen u. a. Alkylaminsalze, Alkylpyridiniumverbindungen.
3) nichtionogene Stoffe (Noniones)
Sie sind nicht in Ionen spaltbar, dazu zählen u. a. die Polyalkoholmonester.
4) Ampholyte
Sie bilden innere Salze.
T. werden in der Keramik z. B. bei der Reinigung von Substraten, als Zusätze zu Trockenpreßmassen u. a. benötigt. [15]

Terpentin – *ein Balsam, der beim Einkerben der Rinde von Nadelhölzern als honigartige, klebrige Masse ausfließt.* Seine wesentlichen Bestandteile sind Terpentinöl und Kolophonium. Das Terpentinöl wird durch Wasserdampfdestillation aus dem Rohharz gewonnen. Es ist ein farbloses bis gelbes, dünnflüssiges, eigentümlich scharfriechendes etherisches Öl, das vorwiegend aus Terpenen (C_5H_8-Einheiten) besteht; $D = 0{,}855$ bis $0{,}972\ g\ cm^{-3}$; Siedepunkt 155 bis 165 °C. T. wird vorwiegend zum Lösen von Harzen, zur Bereitung von Lacken, Firnis, Ölfarben u. a. verwendet. Keramische Farben macht es leichtflüssig. Man benutzt es auch zum Auswaschen der Pinsel, zum Beseitigen der Farben bei Korrekturen, zum Sauberhalten der Farbpalette.

Terrakotta (it.: terra cotta = gebrannte Erde) – *ein keramisches Erzeugnis aus gebranntem Ton (Statuen, Reliefs, Gefäße aller Art) mit porösem, wetterfestem, nicht durchscheinendem, bei 900 bis 1 000 °C braunrot bis braun gebranntem Scherben, meist ohne Glasur.* Der Ton kann mit Schamotte- oder Ziegelmehl gemagert sein. T. war schon in China zur Tang-Zeit und in der Antike bekannt. Unter *Terra nigra* versteht man eine besonders im 1. und 2. Jh. (n. Chr.) verbreitete römische Keramik aus blaugrau gebranntem Ton. Die Oberfläche ist mit einem schwarzen Überzug versehen. Die Bezeichnung *Terra sigillata* (Siegelerde) gilt für eine um 150 v. d. Z. erfundene römische Töpferware (vor allem Geschirr) aus sorgfältig aufbereitetem Ton, bei 900 bis 1 000 °C gebranntem rotem bis braunrotem Scherben mit dichter und glatter Oberfläche (hauchdünne, mattglänzende, harte Glasur). Die meisten Stücke waren mit dem Siegel des Töpfers oder mit siegelartigen Verzierungen und Reliefs versehen.

Terrar – *ein Glasurtrübungsmittel,* das aus einer Mischung von Zirconiumsilicat und Zirconiumoxid besteht. Es wird in größeren Mengen zugegeben als SnO_2, da die Trübungswirkung etwa $\frac{2}{3}$ der des SnO_2 beträgt.

Tertiärquarzit – *s.* Quarzit

Tetraeder – *s.* SiO_4-Tetraeder

Textur (lat.: textum = geflochten) – *Orientierungsverteilung von Kristallen/Kristalliten.* Die in ke-

ramischen Formlingen und Werkstoffen zuweilen auftretenden T. lassen sich auf zwei Ursachen zurückführen:

1) Eine Anzahl von Rohstoffen (Tonminerale, Talk u.a.) ist wegen ihrer plättchenförmigen schieferigen Struktur für Ausrichtungen prädestiniert.

2) Eine große Anzahl technologischer Prozesse fördert die Ausbildung von T., wie beim Gießprozeß auftretende Gießtexturen, beim Pressen (Strang-, Trocken-, Naßpressen) entstehende Preßtexturen, bei Erstarrungen aus Schmelzen oder Abscheidungen aus Lösungen und Glasphase sich ausbildende Wachstumstexturen, beim Sintern mögliche Rekristallisationstexturen und bei der bildsamen Verformung auftretende Fließ-, Ziehund Walztexturen.

T. sind die Ursache für die Anisotropie der physikalisch-technischen Eigenschaften polykristalliner Materialien, die wiederum zu den verschiedensten Produktionsausfällen führen kann, z. B. unterschiedliches Schwinden am Formling, unterschiedlicher thermischer *AK* am Werkstück u. a. Zur Vorbeugung von T. sind verschiedene Maßnahmen üblich, wie Zerstören der Struktur von Rohstoffen durch Vorbrennen (z.B. bei Talk), Zusetzen von texturlosen Stoffen zur Masse (z. B. Magnesit und Sand zu Steatitmassen), Veränderung der Verformungsgeschwindigkeit u.a. T. können mit Hilfe von Licht- und Elektronenmikroskopen, Dilatometern, Texturgoniometern, durch Neutronenbeugung, Permeabilitätsmessungen u.a. nachgewiesen werden.

s. Gefüge

Thenards Blau – tiefblauer Farbkörper vom Spinelltyp ($CoO \cdot Al_2O_3$), der sich beim Glühen von Aluminiumoxid Al_2O_3 mit Cobaltoxid CoO bildet.

Thermistor – *ein meist aus oxidkeramischen Werkstoffen bestehendes Halbleiterbauelement mit einem temperaturabhängigen negativen Temperaturkoeffizienten von etwa* $-0{,}03\,K^{-1}$. Die Temperaturabhängigkeit läßt sich angenähert durch die Beziehung

$$R = a \exp (b/T)$$

R Widerstand (in Ω)
a eine von der Geometrie und der Ladungsträgerkonzentration des Werkstoffes abhängige Konstante (in Ω)
b eine vom inneren Leitungsmechanismus abhängige Konstante (in K)
T absolute Temperatur

darstellen.

s. Halbleiter, keramische, Heißleiter, Kaltleiter

Thermoanalysen – *Verfahren, bei denen physikalische und chemische Eigenschaften eines Stoffes, eines Stoffgemisches oder einer Mischung von Reaktionspartnern als Funktion der Temperatur gemessen werden.* Die Untersuchungssubstanz wird dabei einem kontrollierten Temperaturprogramm unterworfen. Während der Untersuchung kann entweder eine Temperaturänderung je Zeiteinheit (dynamische Arbeitsweise) vorgegeben oder bei konstanter Temperatur (isothermische Arbeitsweise) gemessen werden. Als temperaturabhängige Eigenschaften einer Untersuchungssubstanz werden bei Th. vorwiegend gravimetrische, kalorimetrische und dimensiometrische ausgenutzt, daneben können auch noch mechanische, akustische, optische, elektrische und magnetische Eigenschaften herangezogen werden.

Danach lassen sich an thermoanalytischen Verfahren unterscheiden:

- Thermogravimetrie (TG), s. Thermowaage,
- Thermogravimetrie, derivative (DTG), s. Derivatograph,
- Differenzthermoanalyse* (DTA),
- Differenzkalorimetrie*, dynamische (DDK oder DSC),
- Thermodilatometrie, s. Dilatometrie,
- Emissionsthermoanalyse, s. Spektralanalysen,
- Thermomechanische Analyse* (TMA),
- Thermomagnetometrie*,
- Erhitzungsmikroskopie*, Hochtemperaturröntgenbeugung.

Mit Hilfe der Th. können die physikalischen Phänomene Wechsel der Modifikation*, Schmelzen*, Verdampfen, Sublimation, Kristallisation*, Ab*-, Ad*- und Desorption* sowie die chemischen Phänomene Chemisorption*, Desolvatation (z.B. Entwässerung), Oxydation, Festkörperreaktionen*, Reaktionen in Schmelzen und mit der Gasphase erfaßt werden. [245, 521]

Thermodynamik (griech.: thermos = warm, dynamis = Kraft)

1) Teilgebiet der Physik, das sich mit Wärmeerscheinungen, z.B. der Umwandlung der Wärme in andere Energieformen, beschäftigt. Sie bedient

sich dabei statistischer Methoden und ist nur für Makrosysteme angelegt.

2) Das Teilgebiet *chemische T.* oder *Thermochemie* erfaßt die Wechselbeziehungen zwischen Wärme und chemischen Reaktionen (während die Kinetik die Stoffumwandlungen in der Zeiteinheit betrachtet). Im einzelnen werden unterschieden:

- Wärmeumsätze bei Reaktionen, die die Aufstellung der Wärmebilanzen von Prozessen ermöglichen,
- Richtung des Verlaufes einer Reaktion,
- Beständigkeit der sich bildenden Verbindungen,
- maximale Gleichgewichtskonzentrationen der Reaktionsprodukte und ihre maximale Ausbeute,
- Wege zur Verhinderung unerwünschter Reaktionen,
- Wahl optimaler Reaktionsbedingungen (Druck, Temperatur, Konzentration).

3) Als *thermodynamische Kräfte* bezeichnet man Erscheinungen, wie Temperaturgradient, Konzentrationsgradient und chemische Affinität, die zur Ursache irreversibler Prozesse werden, z. B. der Wärmeleitung, der Diffusion und Konzentrationsänderung chemisch reagierender Stoffe.

4) Aus den Hauptsätzen leitet sich das *thermodynamische Potential* ab. Es stellt eine Funktion der thermodynamischen Variablen dar, aus denen durch Differentiation alle thermodynamischen Größen und Zustandsgrößen beschrieben werden können. Die thermodynamisch einfachen Systeme mit zwei Freiheitsgraden sind:

- freie Energie F (T, V),
- innere Energie U (S, V),
- Enthalpie H (S, p),
- freie Enthalpie G (T, p).

Die Argumente sind jeweils die zugehörigen natürlichen Variablen:

S Entropie T absolute Temperatur
V Volumen p Druck.

Die wichtigsten thermodynamischen Potentiale sind F und G, da ihre Variablen im Experiment direkt bestimmbar sind. Gelegentlich wird die auch als *Gibbs*sches Potential bezeichnete freie Enthalpie

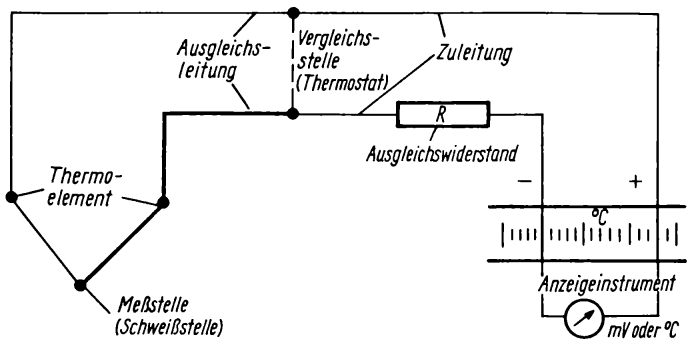
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

als thermodynamisches Potential im engeren Sinne verstanden. Ihre Änderung ist der maximalen Nutzarbeit gleichzusetzen und stellt damit ein Maß für die Triebkraft einer chemischen Reaktion dar.

Thermoelement – *ein Meßwandler,* der zur Temperaturmessung im Bereich von etwa 100 bis zu 3 200 K herangezogen wird und Wärmeenergie direkt in elektrische Energie umwandelt. Nach *Seebeck* ist die Lötstelle zweier Metalle/Metalllegierungen mit unterschiedlichen Elektronenaustrittspotentialen Sitz einer Gleich-EMK, deren Größe ungefähr proportional der absoluten Temperatur der Kontaktstelle ist. Verwendet werden Drahtkombinationen (sog. *Thermopaare*) aus Eisen-Konstantan bis etwa 900 °C, Platinrhodium-Platin bis 1 600 °C, Wolframmolybdän-Wolfram bis 3 000 °C. Th. werden in den verschiedensten Ausführungen in Öfen, Metallschmelzen u. a. eingesetzt. Zum Schutz werden sie in der Regel gekapselt. (s. Bild)

Thermomagnetometrie – *Verfahren, bei denen die magnetischen Eigenschaften der Stoffe in Abhängigkeit von einem Temperaturprogramm gemessen werden,* z. B. Bestimmung der *Curie*temperatur* u. a.

Thermostat (lat.: statuare = feststellen, festhal-



Thermoelement

ten) – *Gerät oder Baugruppe zur Konstanthaltung der Temperatur in Gasen, Flüssigkeiten oder festen Körpern über beliebig lange Zeiträume.* Th. werden insbesondere für Meßzwecke benötigt bei der Untersuchung temperaturempfindlicher Reaktionen. Es können Temperaturgenauigkeiten von ±0,01 K erreicht werden. Die in Labors üblichen Thermostate bestehen aus einem gut wärmeisolierten Gefäß mit Rührvorrichtung zum Wärmeausgleich, Badflüssigkeit (Wasser, Öl, Salzschmelzen), Heiz- und/oder Kühlvorrichtung und Temperaturregler.

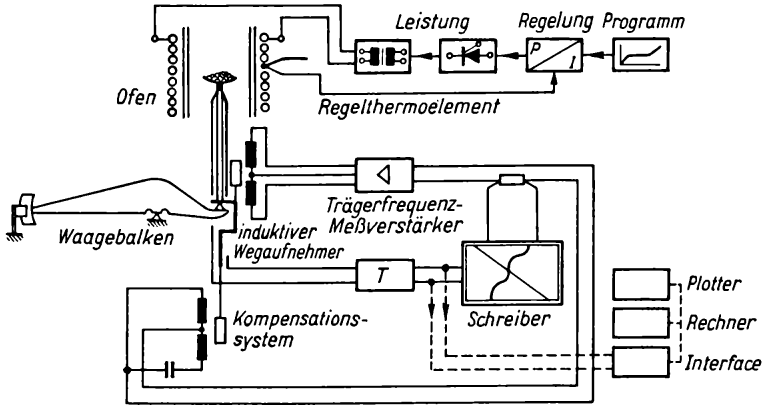
Thermowaage – *eine Waage, die Gewichtsänderungen in Abhängigkeit von der Erwärmung der Probe registriert* (s. Bild). Dazu wird die Probe innerhalb eines Ofens in einen Tiegel gegeben. Der Ofen wird nach festgelegtem Programm aufgeheizt und die Masse der Probe laufend überprüft bzw. automatisch registriert. Eine sehr empfindliche Ausführung stellt die *Differentialthermowaage* dar, bei der beide Waagschalen sich in Öfen befinden, aber einer der Öfen eine konstante Temperaturdifferenz (z. B. 5 K) gegenüber dem anderen Ofen aufweist. Masseänderungen treten bei keramischen Massen durch Wasserabgabe, Sauerstoffabgabe und -aufnahme, CO_2-Abgabe, Verbrennen von organischen und sulfidischen Beimengungen u. a. auf. Die Anwendung der Th. bezeichnet man in der Analytik als *Thermogravimetrie*.

Thixotropie (griech.: thixis = Berührung, tropos = Wendung) – *nach Freundlich die Erscheinung, daß pastöse Massen durch mechanische Einwirkungen (Schütteln) sich verflüssigen, nach Stehenlassen aber wieder ansteifen.* In Anlehnung an die in der Kolloidchemie üblichen Bezeichnungen, Gele für pastöse Massen und Sole für Suspensionen, kann man Th. auch als reversible Gel-Sol-Umwandlung darstellen. Th. wird besonders bei solchen Gelen beobachtet, bei denen zwischen den Teilchen Wechselwirkungen auftreten, d. h. bei denen sich über Nebenvalenzen Strukturen/Aggregationen ausbilden. Dabei wird bei solchen Aggregationen vielfach noch ein bestimmter Anteil an flüssiger Phase mit eingeschlossen. Wird ein solches Aggregat (Kartenhaus*) auf Schub beansprucht, wird es fortschreitend zerstört. Nach Aufhören der mechanischen Einwirkung stellt sich die Nebenvalenzverknüpfung wieder her. Th. ist beliebig oft wiederholbar und verläuft ohne merkliche Reaktionswärme. Systeme mit anisodimensionalen, d. h. plättchen- oder stäbchenförmigen Teilchen, sind zur Th. prädestiniert.

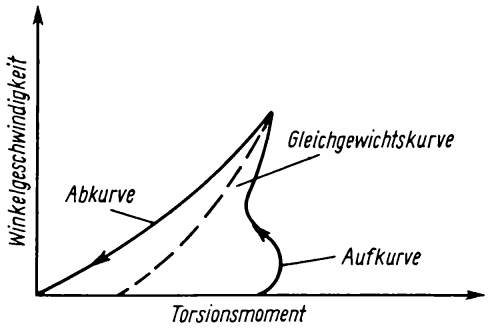
Von der Strukturviskosität ist die Th. durch den Zeitfaktor abgegrenzt. Während die Viskosität thixotroper Systeme mit zunehmender Beanspruchung kleiner wird und zu ihrer Rückbildung im Ruhezustand eine gewisse Zeit erforderlich ist, tritt bei der reinen Strukturviskosität dieser Effekt sofort ein.

Für Studien an thixotropen Systemen sind Rotationsviskosimeter üblich. Ihr Tendenzverhalten zeigt das nebenstehende Bild.

Zweckmäßig wird in gleichen Abständen und gleichen Zeitintervallen die Rotationsgeschwindigkeit gesteigert und wieder in ähnlichen Schritten auf Null verringert. Thixotrope Suspensionen ergeben eine Hystereseschleife, die als quantitatives Maß gewertet werden kann. Sie ist jedoch kein absolutes Maß und von den jeweiligen Versuchsbedingungen abhängig. Bei hohen Schergeschwindigkei-



Prinzip der Thermowaage (Netzsch (Selb) STA 429)



Tendenzdiagramm thixotroper Systeme, aufgenommen mit dem Rotationsviskosimeter (nach *Moore*)

ten kann die Hysteresiskurve verschwinden, und die Gleichgewichtskurve wird erreicht.

Thixotropiezahl, Bestimmung der – *in der keramischen Gießtechnologie gebräuchliche Untersuchungsmethode zur Beurteilung des rheologischen Verhaltens von Suspensionen**. Sie ist definiert als das Verhältnis der Sofort-Auslaufzeit der Suspension aus einem Auslaufviskosimeter* und der Auslaufzeit derselben Suspension nach einer Standzeit von 15 min für Rohstoffe bzw. einer erzeugnis- oder technologiebedingten Standzeit für Massen. Die Bestimmung der Th. erlaubt Aussagen über den erreichten Grad der Verflüssigung einer Suspension sowie über den Einfluß von Peptisationsmitteln. (Peptisationsmittel sind chemische Verbindungen, die bei einem gegebenen Wassergehalt die Viskosität* der Suspensionen herabsetzen. Als Maß für die Viskosität gilt hier die Auslaufzeit einer vorgegebenen Menge Suspension aus dem Auslaufviskosimeter*.) Als Idealwert der T. gilt 1; im praktischen Fall wird meist 0,95 angestrebt.

Thoriumoxid (ThO_2) – angereichert in Monazit ((Ce, Th) (P, Si)O_4).

Kristallographie: kubisch im CaF_2-Gitter*

Physikalische Eigenschaften: $D = 10{,}05\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 3\,220\ °C$ (höchstschmelzendes Oxid);

WAK $\alpha_{20/1000} = 9 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; $\lambda_{100} = 10\ W\ (m\ K)^{-1}$, $\lambda_{1000} = 3\ W\ (m\ K)^{-1}$; $\varrho_{225} = 10^{14}\ \Omega\ cm$, $\varrho_{1000} = 10^5\ \Omega\ cm$

Sinterfähige Pulver werden nach Aufschluß durch Fällung als Oxalat oder Hydroxid zum Oxid verglüht. [133]

Thoriumoxid-Keramik – *durch außerordentlich hohe thermische und chemische Beständigkeit ausgezeichnete Werkstoffgruppe.* Sie übertrifft im Widerstand gegen stark reduzierende oder basische Materialien bei hohen Temperaturen alle anderen keramischen Werkstoffe.

Man unterscheidet:

- *Th-K-T* als Hochtemperaturwerkstoff, der als Tiegel bzw. Probegefäß für flüssige Metalle und als Konstruktionsmaterial in Verdampfungseinrichtungen eingesetzt wird.
  Eigenschaften: ThO_2-Gehalt > 99 %; $T_S = 3\,300\ °C$; der Dampfdruck bei + 2 000 °C = 0,11 Pa; der $E = 0{,}24\ G\ N\ m^{-2}$;
  *Mohs*härte = 6,5; D (porös) = $8{,}5\ g\ cm^{-3}$ und $OP \approx 14\ \%$; D (dicht) = $9{,}4\ g\ cm^{-3}$ und $OP < 0{,}2\ \%$
- *Th-K-Ty* ist ein Festelektrolyt*; ein Teil der Thoriumionen ist durch Yttriumionen ersetzt. Der Werkstoff eignet sich besonders zur kontinuierlichen Sauerstoffmessung in flüssigem Natrium bzw. desoxydierten Stahlschmelzen.
  Eigenschaften: ThO_2-Gehalt = 92,5 %, Y_2O_3-Gehalt = 7,5 %; $D > 95\ \%$ (theoretische Dichte); $OP < 0{,}2\ \%$; elektrische Leitfähigkeit (400 bis 1 000 °C) $\sigma = 1\,230 \exp(-14\,200\ K/T)\ S\ cm^{-1}$. [511]

Tialit (Aluminiumtitanat, Al_2TiO_5)

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: $D = 3{,}77\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 1\,860\ °C$; zeigt bis etwa 700 °C eine sehr geringe bzw. sogar negative Wärmedehnung. Der Ausdehnungskoeffizient besitzt in den verschiedenen Kristallrichtungen eine sehr starke Anisotropie von $-1{,}4$ bis $20{,}6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, die für eine mäßige mechanische Festigkeit mitverantwortlich ist.

T. wird bei Temperaturen >1 260 °C aus Rutil* und Korund* in einer Festkörperreaktion* erzeugt und gewinnt neuerdings als Auskleidungsmaterial im Motorenbau und als temperaturwechselbeständiger Wärmeisolierstoff an Bedeutung, nachdem es gelungen ist, durch geeignete Mineralisatoren die mechanische Festigkeit zu steigern. [517, 573]

Tiefschliff – Zerspanen des gesamten Schleifaufmaßes in einer Zustellung bei relativ geringer Vorschubgeschwindigkeit.

Titanate – Verbindungen des Titans der Art $Me^{++}TiO_3$; Me^{++}: Alkali-, Erdalkalimetalle, Eisen. Eine Anzahl von T. ist ferroelektrisch.

Titannitrid (TiN) – goldgelbes Pulver; $D = 5{,}29\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 2\,930\ °C$. Die Darstellung erfolgt aus Titan-IV-chlorid im Ammoniakstrom.

T. ist eine chemisch stabile Verbindung und zeichnet sich als dünne Schicht durch Härte und Abriebfestigkeit aus. Auf Grund der Goldfarbigkeit wurden in letzter Zeit Versuche unternommen, in der keramischen Dekoration* T. als Goldimitation heranzuziehen. Das Auftragen der Schichten erfolgt durch reaktives Aufdampfen im Hochvakuum, wobei durch Variation der Stöchiometrie TiN_x ($x = 1$ bis 0,8) verschiedene Farbtönungen möglich sind. Die erreichten Schichtdicken bewegen sich um 0,1 bis 0,2 µm und sind spülmaschinenfest. [518, 573]

s. Beschichten, Aufdampfen, Sputtern, Hochratezerstäuben

Titanoxide

1) Titanmonoxid (TiO) – goldgelbe Verbindung; $D = 4{,}93\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 1\,750\ °C$.

2) Titantrioxid (Ti_2O_3) – amethystfarbene Verbindung; $D = 4{,}49\ g\ cm^{-3}$; $T_S = 1\,900\ °C$. Es bildet sich durch reduzierende Einflüsse in titandioxidhaltigen Massen, die durch den Wertigkeitswechsel halbleitende Eigenschaften erhalten.

3) Titandioxid (TiO_2; s. Rutil) – in geringen Mengen in Tonen vorkommende Verbindung. Zusätze von mindestens 10 Masse-% bei Kristallglasuren bewirken radialstrahlige Ausscheidungen.

Verwendung: in elektrisch halbleitenden Glasuren.

Ton – *feinkörniges Sedimentgestein, das durch mechanische und chemische Verwitterung feldspathaltiger Gesteine entstanden ist.* Es besteht aus:

- Tonmineralen als Hauptbestandteile (fein- bis kryptokristalline Hydrosilicate von Aluminium mit geringen Alkali-, Magnesium- und Eisenanteilen),
- feinklastischen Mineraltrümmern, wie Quarz, Glimmer, u. a.,
- Mineralneubildungen, wie Pyrit, Carbonate u. a.,
- biogenen Beimengungen,
- amorphen Bestandteilen (z. B. SiO_2).

Ton, fetter – *ein sehr feinkörniger, hochbildsamer Ton, der in Stücken eine schwach glänzende Oberfläche zeigt.* Er läßt sich schlecht vergießen, schwindet stark und neigt zum Verziehen. Andererseits zeichnet er sich durch ein großes Binde- und ein frühes Sintervermögen aus.

Ton, feuerfester – *ein Ton mit einem Al_2O_3-Gehalt > 33 % und geringem Anteil an Flußmitteln.* Die Gesamtsumme von $K_2O + Na_2O + CaO + MgO + Fe_2O_3$ darf 6 % nicht überschreiten, der Pyrometerkegelfallpunkt liegt ≧PK 152 (≧1 520 °C).

Ton, magerer – *ein sandiger Ton mit rauher Oberfläche (in Stücken).* Er zerfällt leicht im Wasser, benötigt wenig Anmachwasser, neigt beim Trocknen nicht zum Verziehen, ist gut vergießbar und brennt erst bei hohen Temperaturen dicht.

Tondinas – *feuerfeste Erzeugnisse* auf der Basis von Quarzit (93 > SiO_2 ≧ 85 Masse-%) und Tonschlicker. Die Druckerweichungswerte liegen bei 1 450 bis 1 500 °C.

Tone, Nomenklatur der – *von Ernst, Forkel und Gehlen ausgearbeitetes System, das mit Hilfe von Symbolen Auskunft über die mineralische Zusammensetzung der Tone/Kaoline gibt.*

Die den jeweiligen Rohstoff aufbauenden Minerale* werden in Hauptgruppen (ein großer Buchstabe), Untergruppen (zwei große Buchstaben) und Minerale (kleine Buchstaben) als Indizes eingeteilt, wobei die Reihenfolge gleichzeitig den Mengenanteil ausdrückt: KIQ-Ton = Ton aus Vertretern der Kaolingruppe, der glimmerartigen Minerale und der SiO_2-Minerale bestehend. Die jeweiligen Mengen werden als Masse-% in Klammern dahinter gesetzt, z. B. K(60) I($\overline{20}$) Q($\overline{20}$). Die Querstriche kennzeichnen ungenaue Angaben. In der Klammer können noch weitere Angaben über die Art der Kationenbelegung (z. B. K^+, Na^+) und die Größe des Kationenaustauschvermögens gemacht werden (z. B. 90 mval/100 g).

Kennzahlen vor den Symbolen der mineralischen Zusammensetzung bedeuten: die erste Zahl gibt die Halbwertskorngröße in µm, die zweite Zahl die

Symbole des »Vollständigen Nomenklatursystems der Tone« von *Ernst*, *Forkel* und *v. Gehlen*

Hauptgruppensymbol	Untergruppensymbol	Mineralsymbol
K Kaolingruppe		ka Kaolinit dc Dickit fc Fireclay-Mineral
	HL Halloysit	
M Montmoringruppe (Smektite; Gitter quellfähig)		mo Montmorillonit nt Nontronit sa Saponit

Hauptgruppensymbol	Untergruppensymbol	Mineralsymbol
I glimmerartige Minerale (Gitter nicht quellfähig)	IL Tonminerale der Glimmergruppe	hm Hydromuskowit il Illit ld Ledikit
		mu Muskowit, Sericit bt Biotit ph Phlogopit gl Glaukonit
X übrige, silicatische Tonminerale		tc Talk pg Palygorskit, Attapulgit
	ML Wechsellagerungsstrukturen	co Corrensit hb Hydrobiotit
	VM Vermiculitgruppe	vm Vermiculit
	CH Chloritgruppe	
	SP Serpentingruppe	
A Aluminiumoxide und -hydroxide		gi Hydrargillit di Diaspor bo Böhmit
Q SiO_2-Minerale		qz Quarz, Chalcedon cr Cristobalit op Opal
F Feldspatgruppe		or Orthoklas pl Plagioklas
S Salze, relativ leicht löslich	CL Chloride	
	SF Sulfate	gy Gips
C Carbonate		cc Calcit, Kalkspat do Dolomit ak Ankerit sd Siderit, Eisenspat
Y sonstige Begleitminerale		fe Goethit, Nadeleisenerz, Limonit hm Hämatit, Eisenglanz mt Magnetit il Ilmenit ru Rutil at Anatas zr Zirkon tm Turmalin gr Granat ap Apatit, Phosphorit pr Pyrit
O organisches Material		
Z ungetrennte Aggregate, Gesteinsfragmente, Fossilien usw.		

spezifische Oberfläche in $m^2 g^{-1}$ an, z. B. 0,6/30 entspricht einer Halbwertskorngröße von 0,6 µm (d. h., 50 % < 0,6 µm und 50 % > 0,6 µm) und einer spezifischen Oberfläche von 30 $m^2 g^{-1}$. [438, 439]

Tonerde – *s.* Aluminiumoxid

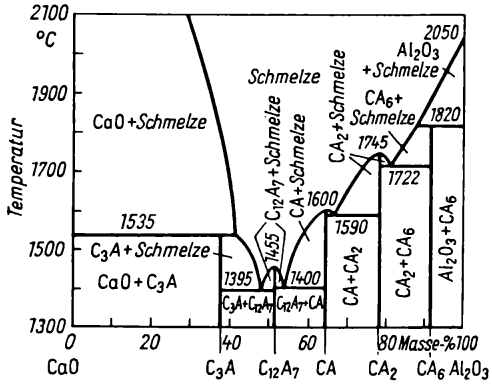
Tonerde-Graphit-Massen – *feuerfeste Gemenge auf der Basis von 60 bis 70 % Tonerde, 25 bis 35 % Graphit, 0 bis 10 % SiO_2, 0 bis 5 % SiC und ggf. Zusätze von BN,* die als Massegrundlage für Tauchrohre, Tauchausgüsse u. a. dienen und in metallurgischen Stranggußanlagen den erheblichen thermischen und korrosiven Beanspruchungen gut widerstehen.

T.-G.-M. werden im isostatischen Preßverfahren geformt. Im Werkstoff liegt graphitische Bindung vor. Die offene Porosität bewegt sich zwischen 16 und 25 %. [553]

Tonerdehydrat (Aluminiumhydroxid, $Al(OH)_3$) – *s.* Aluminiumhydroxide

Tonerdeschmelzzement – *s.* Aluminiumzement

Tonerdezement (hochtonerdehaltiger Zement, HTZ) – *Gruppe von Zementen*, deren Al_2O_3-Gehalt sich in den Grenzen von 65 bis 80 % bewegt,* die sich gegenüber Aluminiumzementen* durch wesentlich bessere feuerfeste Eigenschaften auszeichnen und für Spezialfeuerbetone verwendet werden.
Aufgrund der Reinheit lassen sich diese Zemente im Zweistoffsystem CaO-Al_2O_3 darstellen (s. Bild);



System CaO–Al_2O_3

T. liegen danach zwischen den Punkten CA und CA_2.
Für die Zemente mit 65 % Al_2O_3 ist das Eutektikum CA—CA_2 mit 1590 °C bestimmend. Hochwertige Zemente, mit ≈73 % Al_2O_3, beginnen bei höheren Temperaturen zu erweichen, als Kegelfalltemperatur werden 1610 °C und für Zemente mit 80 % Al_2O_3 Temperaturen von 1750 °C genannt. Naturgemäß ist die *DFB* der Zemente über 65 % Al_2O_3 am besten, die $T_{0,6}$-Werte liegen über 1500 °C. Die Erhärtung der T. verläuft im Prinzip ähnlich wie die der Aluminiumzemente. [305]

Tongut – *zusammenfassende Bezeichnung für alle porösen feinkeramischen Werkstoffe* (Töpferwaren, Steingutwaren, Wärmedämmungssteine u. a.).
s. Keramik

Tonhobel – *eine kontinuierlich arbeitende Maschine zum Zerkleinern grubenfeuchten oder lederharten, auch gefrorenen, stückigen Tones.* Am Boden eines zylindrischen oder schwach konischen stählernen Behälters ist ein rotierender, mit Messern besetzter Teller angeordnet. Die Schnitzel gelangen auf einen darunterliegenden Streuteller und werden durch einen Ausstreicher seitwärts hinausbefördert. Der T. ist für sehr feuchte, klebrige Tone ungeeignet.

Tonmergel – *s.* Mergel

Tonminerale – *zusammenfassende Bezeichnung für die Tone* und Kaoline* aufbauenden Schichtsilicate.* Man unterscheidet nach ihrer Struktur:
1) Zweischichtminerale
Sie bauen sich aus einer SiO_4-Tetraederschicht und einer Hydrargillit- ($Al(OH)_3$-) bzw. Brucit- ($Mg(OH)_2$-)Oktaederschicht auf. Die SiO_4-Tetraeder sind über jeweils drei Sauerstoffe zu Sechserringen verknüpft, der vierte Sauerstoff ist Bestandteil einer dichtgepackten (O, OH)-Schicht, die ihrerseits mit einer weiteren (O, OH)-Schicht eine dem Hydrargillit bzw. Brucit entsprechende Schichtanordnung bildet. Die sich zwischen den beiden (O, OH)-Schichten ergebenden Oktaederlücken sind mit Kationen besetzt: Erfolgt die Besetzung der Oktaederlücken mit zweiwertigen Kationen vollständig (sog. ⅔-Besetzung), spricht man vom *trioktaedrischen Typ*, werden jedoch dreiwertige Kationen eingebaut, so werden nur ⅔ der Oktaederlücken besetzt, man spricht dann vom *dioktaedrischen Typ*.
2) Dreischichtminerale
Sie bauen sich aus zwei SiO_4-Tetraederschichten und einer dazwischenliegenden Oktaederschicht auf. Je nach Besetzung der Oktaederlücken unterscheidet man wieder trioktaedrische bzw. dioktaedrische Typen. Eine weitere Differenzierung tritt noch ein
- durch die Art der Kationenbesetzung der Oktaederlücken,
- durch den diadochen Ersatz von Si^{4+} durch Al^{3+}, Fe^{3+} auf Tetraederplätzen und von Al^{3+} durch Mg^{2+}, Fe^{2+} bzw. Mg^{2+} durch Li^{+} auf den Oktaederplätzen,
- durch die aus der Stapelung der Schichtpakete veränderte Kristallsymmetrie.

3) Vierschichtminerale
Sie bauen sich aus zwei SiO_4-Tetraederschichten und einer dazwischengelagerten $Mg(O, OH)_6$-Oktaederschicht und einer noch folgenden (Mg, Fe) $(OH)_6$-Oktaederschicht auf.
[9, 17]
s. Silicate, Alumosilicate

Tonminerale, thermochemisches Verhalten – *charakteristische Veränderungen der Tonminerale beim Erhitzen.* Allgemein lassen sich drei Arten von Reaktionen unterscheiden:
- Abgabe des adsorptiv oder koordinativ an austauschbare Zwischenschicht-Kationen gebunde-

Gliederung der Tonminerale *(Rösler/Starke)*

Tetraederschicht	Art der Besetzung der Oktaederschicht			
	nicht hydratisiert		hydratisiert	
	dioktaedrisch	trioktaedrisch	dioktaedrisch	trioktaedrisch
		Zweischichtminerale		
silicatisch	Kaolinitgruppe* $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$	Serpentingruppe* $Mg_6[(OH)_8/Si_4O_{10}]$	Hydrohalloysit* $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}] \cdot (H_2O)_4$	
alumosilicatisch	Donbassit (Na, Ca, Mg) $Al_4[(OH)_8/AlSi_3O_{10}]$	Berthieringruppe $(Fe, Mg, Al)_6$ $[(OH)_8/(Al, Si)_4O_{10}]$		
		Dreischichtminerale		
silicatisch	Pyrophyllit* $Al_2[(OH)_2/Si_4O_{10}]$	Talk* $Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]$	Montmorillonitgruppe* $\{(Al, Mg)_2[(OH)_2/Si_4O_{10}]\}$ $\{(Na, Ca)_x(H_2O)_n\}$	Saponitgruppe* $\{(Mg, Fe)_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]\}$ $\{(Na, Ca)_x(H_2O)_n\}$
alumosilicatisch	Muskovitgruppe* $KAl_2[(OH)_2/AlSi_3O_{10}]$	Biotitgruppe* $K(Mg, Fe)_3$ $[(OH)_2/AlSi_3O_{10}]$	Vermiculitgruppe* $\{(Al, Fe, Mg)_2$ $[(OH)_2/AlSi_3O_{10}]$ $(Ca, Mg)_x(H_2O)_n\}$	Vermiculitgruppe* $\{(Mg, Fe)_3$ $[(OH)_2/AlSi_3O_{10}]$ $(Mg)_x(H_2O)_n\}$
		Vierschichtminerale		
alumosilicatisch		Chloritgruppe* $\{(Mg, Fe, Al)_3$ $[(OH)_2/(Si, Al)_4O_{10}]$ $(Mg, Fe)_3(OH)_6\}$		
			Wechsellagerungsminerale*	
			Rectorit (Illit + Montmorillonit)	Corrensit (Vermiculit + quellfähiger Chlorit)

nen Wassers bis zur ungefähren Temperaturhöhe von 250 °C als endothermer Effekt,

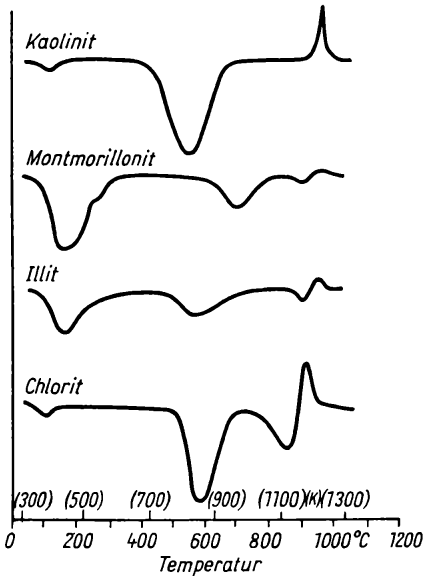
- Abspaltung von Wasser aus den OH-Gruppen (sog. Dehydroxylation) zwischen 400 und 800 °C als endotherme Reaktion,
- Umordnung metastabiler aktiver Zwischenphasen und die Bildung neuer kristalliner Phasen ab etwa 900 °C als zumeist exotherme Reaktion.

Besonderheiten einiger Tonminerale sind:

1) Kaolinit besitzt in der Regel wenig austauschfähige Kationen, daher auch keine ausgeprägte Abgabe adsorbierten Wassers. Die Dehydroxylation bei ≈500 °C führt zu einem metastabilen Schichtgitter, dem sog. Metakaolin. Bei ≈950 °C bildet sich in exothermer Reaktion ein Si-Al-Defektspinell, der durch längeres Erhitzen oder höhere Temperatur in einer Festkörperreaktion* in Mullit* unter SiO_2-Ausscheidung übergeht. Da strukturelle Bauformen vom Kaolinit über die Reaktionen bis zum Mullit erhalten bleiben, spricht man von *Topotaxie**.

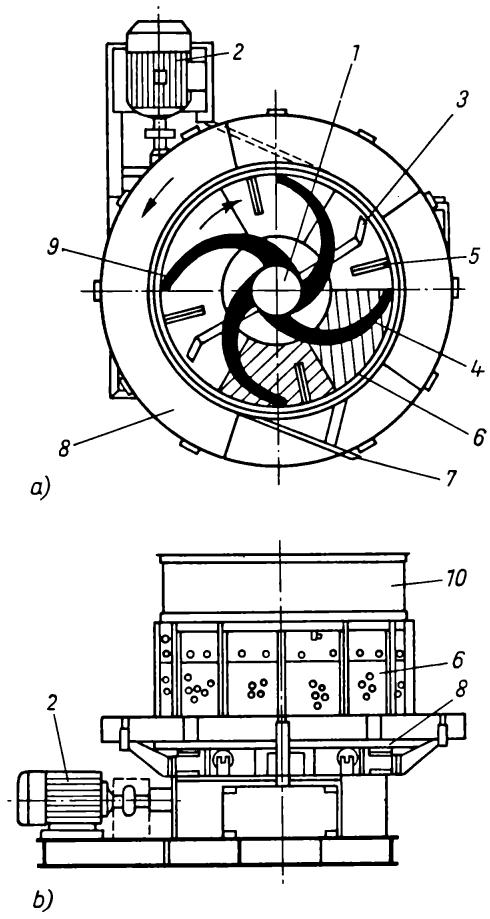
2) Montmorillonit verfügt über reichlich an Zwischenschichtkationen gebundenes Wasser, das je nach diadoch eingebauten Kationen im Temperaturbereich von ≈100 bis 250 °C in Stufen abgegeben wird. Die Dehydroxylation erfolgt je nach Eisengehalt etwa zwischen 450 und 650 °C und hinterläßt dabei ebenfalls eine Metaphase. Bei etwa 850 °C treten über die Zwischenstufe Fehlordnungsspinell Phasenneubildungen ein: Mullit, Hochquarz, Cristobalit, Cordierit*.

3) Illit zeigt zwischen 100 und 200 °C eine starke Wasserabgabe, die in der Hauptsache von den H_3O-Ionen der Zwischenschicht stammt. Bei etwa 500 °C findet die Dehydroxylation statt, die zu einer Metaphase führt, die noch in hohem Maße die Charakteristika des Illitgitters aufweist. Ab 850 °C erfolgt über die Spinellstufe die Bildung von Mullit*, Cordierit und Forsterit* (s. Bild). [17, 48]



Differentialthermogramme von Tonmineralen

Tonraspler – *eine kombinierte Aufbereitungs- und Beschickungsanlage* zum intensiven Aufbereiten und Mischen steinfreier, weicher, nicht allzu fetter, nicht zu trockener Tone (s. Bild). Der runde Aufgabezylinder ist im unteren Teil mit verschleißfesten, auswechselbaren Siebblechen versehen. Ein zweiarmiger Rührflügel arbeitet den Ton durch und verhindert eine Brückenbildung. Ein Streicheisen drückt den Ton durch die Siebe. Die austretenden kleinen Tonscheiben fallen auf einen sich drehenden Sammelteller und werden von dort der nachfolgenden Maschine zugeführt. Bei der Heißaufbereitung führt man vom Boden her Dampf ein, um einen besseren Aufschluß und eine Verbesserung der Toneigenschaften insgesamt zu erzielen.



Tonraspler
a) schematisch
b) Ansicht
1 oberes Lager
2 Antrieb
3 oberer Rührarm
4 Rührarmkreuz
5 Gegen-»Messer«
6 Siebplatten
7 Abstreicher
8 Sammeltellerkranz
9 Streichleisten an den Rührarmen
10 Bottichaufsatz

Tonrohre – aus bildsamen bis mittelbildsamen, gut verformbaren Ziegeltonen auf Strangpressen, bei größeren Durchmessern auf stehenden Pressen hergestellte, sorgfältig getrocknete, bei 900 bis 1 000 °C gebrannte (oxydierende Atmosphäre) Röhren.
Verwendung: Drainage u. a.

Tonschiefer – *durch die bei Gebirgsneubildungen auftretenden hohen Drücke aus Schieferton hervorgegangenes dünnplattiges (schieferiges) Gestein von bläulich-grauer Farbe.*

Verwendung: als Dachschiefer, gelegentlich auch als Magerungsmittel in der Feuerfestindustrie.

Tonschneider – *ein besonders für Töpfer-, Kachel- und Schamottemassen gebräuchlicher Mischer.* Äußerlich ähnelt er einer Strangpresse, d. h., er weist einen Einschütttrichter, einen zylindrischen Arbeitsraum mit einem Preßkopf auf. Im Innern des Zylinders dreht sich eine horizontal liegende Welle mit messerartigen Flügeln, die die zu mischende Masse in Richtung des Preßkopfes bewegt. Zur Verminderung von Toträumen sind an der Zylinderinnenwand Gegenmesser angeordnet. Der endlos austretende Massestrang wird durch einen rotierenden Abschneider in Scheiben u. a. geschnitten. Außer der liegenden werden T. auch in stehender Bauart ausgeführt.

Tonsubstanz – *ein beim Berechnen von keramischen Massen im Zusammenhang mit der rationellen Analyse üblicher Sammelbegriff für die tonigen Anteile der Rohstoffe bzw. der Massen.* Dieser auf *Aron, Seger* zurückgehende und von *Pukall, Berdel, Kallauner* u. a. erweiterte Begriff sollte mit der Formel $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$ die Zusammensetzung der Kaoline/Tone wiedergeben. Tatsächlich entspricht diese Formel aber nur dem Tonmineral Kaolinit, für die anderen Tonminerale ist sie falsch. Der Begriff T. ist daher immer mit Vorbehalt anzuwenden.

Tonverflüssigung – *s.* Schlicker, Verflüssigung

Tonware (Irdenware) – *die ältesten Erzeugnisse der Keramik.* Der Scherben ist farbig, nicht durchscheinend und von erdigem, mattem, feinkörnigem Bruch. Die Brenntemperatur liegt meist unter 1 000 °C. Vielfach sind T. oberflächenbehandelt. Anwendung einfacher Dekortechniken (z. B. Schlickermalerei), Aufbringen von Engoben, Aufbringen von Wachs- oder Lacküberzügen nach dem Brand u. a. T. für den Haushalt sind heute meist durch Steingut, Porzellan u. a. abgelöst.

Tonzeug – *zusammenfassende Bezeichnung für die dichten feinkeramischen Erzeugnisse auf silicatischer Basis.* Der Scherben* kann weiß oder auch farbig sein. Zum T. zählen insbesondere die Porzellane* und das Steinzeug*. Der Begriff T. wird meist zur Gegenüberstellung zu Tongut* mit porösem Scherben gebraucht.

Topas ($Al_2[F_2/SiO_4]$) – benannt nach der Insel Topasos im Roten Meer.

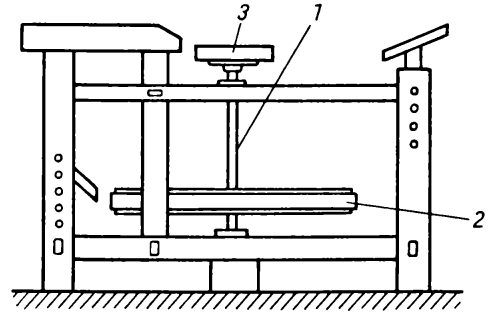
Kristallographie: orthorhombisch; muscheliger Bruch; Halbedelstein

Physikalische Eigenschaften: gelb, grün, bisweilen rot; $D = 3{,}52\ g\,cm^{-3}$; $H = 8$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}61$, $n\beta = 1{,}63$, n_γ;1,60

s. Sapphirin

Töpferglasur – *leichtflüssige, bleihaltige oder bleifreie Glasuren (Rohglasuren)* in den Grenzen $RO \cdot 0{,}1$ bis $0{,}3\,Al_2O_3 \cdot 1$ bis $3\,SiO_2$. RO besteht überwiegend aus PbO, um im niedrigen Brand die ausreichende Leichtflüssigkeit zu erreichen. Verwendet werden auch Glasuren $PbO \cdot SiO_2$ bis $PbO \cdot -SiO_2$, die vielfach mit Lehmglasuren vermischt werden. Die bleifreien Glasuren haben die Art der Feldspatrohglasuren für Weichporzellan. Im Gebrauch sind farblose und durch Metalloxid gefärbte Glasuren und auch solche mit Trübungsmitteln (SnO_2). Der Schmelzbereich liegt bei etwa 900 bis 1 200 °C.

Töpferscheibe – *einfache Vorrichtung zum Formen rotationssymmetrischer Gefäße.* Die T. gilt als die älteste Erfindung der Menschheit und war im alten Ägypten bereits im 4. Jh v. d. Z. bekannt. Auf einer senkrechten Welle, die am unteren Ende in einem Spurlager läuft und oben durch ein Halslager gehalten wird, befinden sich unten die Schubscheibe, über die mit dem Fuß die Welle in Drehung versetzt wird, und am oberen Ende die flachzylindrische Kopfscheibe, die sog. *Arbeitsscheibe* (s. Bild). Auf der Arbeitsscheibe wird der



Töpferscheibe für das Freidrehen
1 Welle
2 Schubscheibe
3 Kopfscheibe/Arbeitsscheibe

Tonbatzen zentriert, aus dem mit den Händen die gewünschte Form durch Drücken und Ziehen gestaltet wird. T. werden heute über Reibungskupplungen elektrisch angetrieben.

s. Freidrehen

Topologie (griech.: topos = Raum, logos = Rede) – *Wissenschaft, die aus der Analyse des Raumbegriffs Eigenschaften allgemeiner Räume herleitet.* Der Raumbegriff wird dabei so allgemein wie möglich gefaßt.

Topotaxie (griech.: topos = Ort, taxis = Anordnung) – *chemische Reaktion innerhalb eines Festkörpers, bei der kristallographische Orientierungen bzw. Strukturelemente (dichtbesetzte Gitterrichtungen, Flächen u. a.) des Endproduktes in Beziehung zu denen des Ausgangsmaterials stehen,* z. B. die Reaktion nach *Saalfeld*:

$$[100]\,AlO(OH) \rightarrow [\bar{1}10]\,\gamma\text{-}Al_2O_3 \rightarrow [100]\,\delta\text{-}Al_2O_3$$

Abstand

0,286 nm 0,281 nm 0,281 nm

$$\rightarrow [100]\,\vartheta\text{-}Al_2O_3 \rightarrow [1\bar{1}0]\,\alpha\text{-}Al_2O_3$$

0,281 nm 0,26...0,28 nm

Torkretieren – *s.* Naßtorkretieren, Spritzverfahren

Transformationsintervall – *s.* Glas

Tragant – *ein Gummiharz, geschmack- und geruchlos, das in Wasser zu einer gallertartigen, trüben Masse aufquillt.* T. wird von verschiedenen Schmetterlingsblütlern in Form harter, weißgelblicher Stücke abgesondert.

Verwendung: Klebemittel in Massen u. a.

Tragisolator – *zusammenfassende Bezeichnung für Freileitungs-Hänge-Isolatoren, Stützen-Isolatoren und Stützer, die einen unter Spannung stehenden Leiter oder spannungsführende Geräteteile tragen.* Nach ihrer Konstruktion werden T. in Freiluft- und Innenraumisolatoren unterteilt.

Translationsgitter (*Bravais*-Gitter; lat.: translatio = Versetzung, Übertragung) – *durch Verschiebung des Anfangspunktes (Atom/Ion) entstandene einfache Elementarzelle.* Entsprechend den 7 Kristallsystemen gliedern sich auch die Elementarzellen in 7 symmetrisch verschiedene Typen, die sich durch Größe der Primitivtranslation a_0, b_0 und c_0 in Richtung der kristallinen Achsen und durch die Achsenwinkel α, β, γ unterscheiden. *Bravais* lieferte als erster den Beweis, daß es noch weitere 7 Elementarzellen gibt, wenn die Translation in Richtung der Flächen- und Raumdiagonalen erfolgt, d. h., es existieren 14 T. Man kennt 1 triklines, 2 monokline, 4 orthorhombische, 1 hexagonales, 1 trigonales, 2 tetragonale und 3 kubische T. (s. Bild S. 481).

Transparenz (lat. transparere = sichtbar werden, durchscheinen) – *Lichtdurchlässigkeit dünnwandiger Porzellane.* Beim Auftreffen von Licht auf Porzellan geht zunächst ein kleiner Anteil des Lichtes (etwa 4 %) durch Reflexion verloren; weitere Anteile werden im Porzellan durch färbende Oxide absorbiert. Der wesentlichste Intensitätsverlust erfolgt jedoch durch Streuung an den Korngrenzen. Die Streuung ist um so stärker, je mehr Korngrenzen im Werkstoff vorhanden sind und je größer die Differenz der Brechungsindizes der den Werkstoff aufbauenden Phasen ist. Die Durchlässigkeit D ist definiert:

$$D = \frac{I}{I_0}$$

I durchgelassene Lichtmenge
I_0 primär auffallende Lichtmenge.

Daraus ergibt sich:

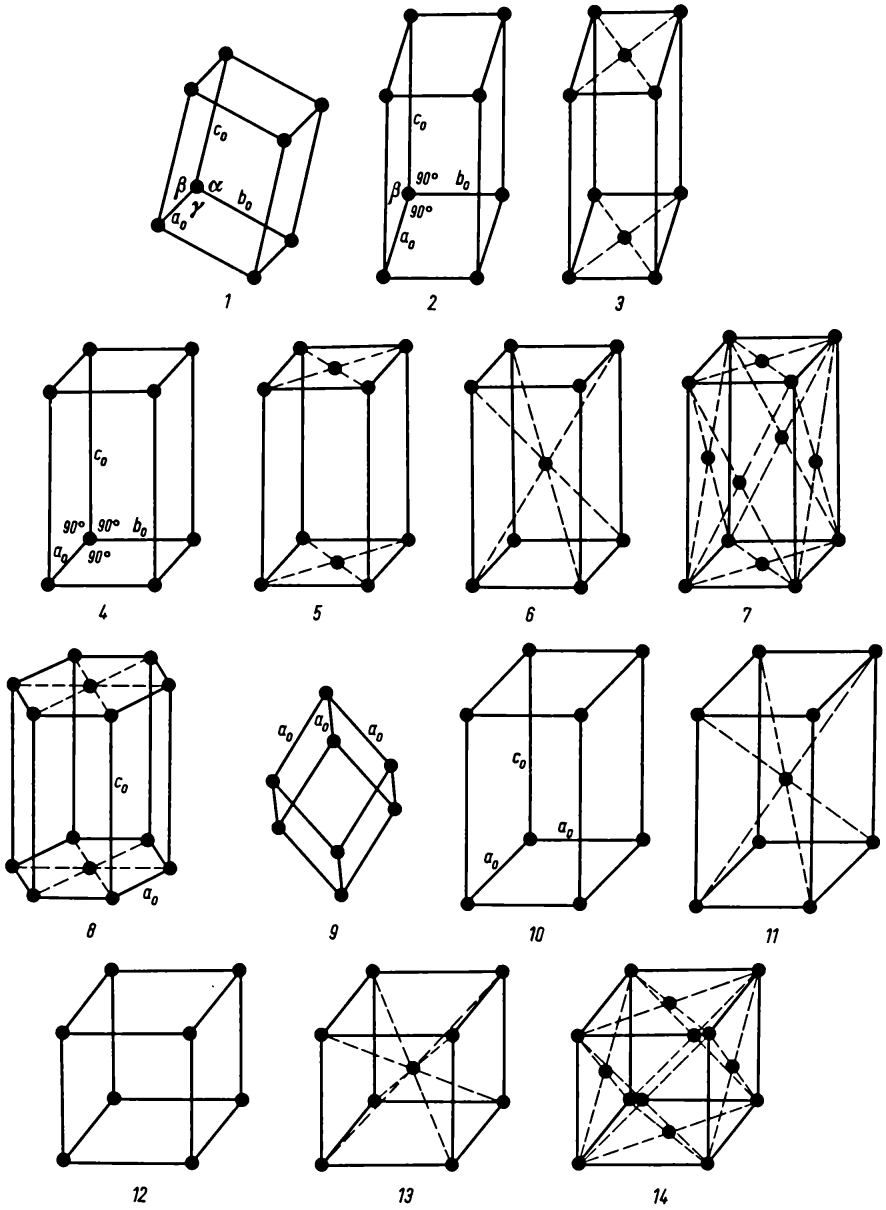
$$D = \delta^d \quad \text{bzw.} \quad \log \delta = \log D/d$$

δ Transparenz
d Scherbenstärke (unter Vernachlässigung der Reflexion).

Meist wird die T. auf die Scherbendicke von 1 mm bezogen. D kann mit einer Fotozelle bestimmt werden. Bei Porzellan bewegen sich die Werte für die T. zwischen 2 und 10 %. Beträgt z. B. $\delta = 1\,\%$, so läßt ein Scherben von 2 mm Dicke noch 10^{-4}, von 3 mm Dicke noch 10^{-6} der einfallenden Lichtmenge hindurch.

Über die T. werden folgende allgemeine Aussagen getroffen:

- Hohe Prozentgehalte an kristalliner Phase im Scherben verursachen geringe T.
- Abnehmende Kristallitgröße bei gleichem Kristallgehalt bedingt infolge der damit verbundenen Vermehrung der Korngrenzen eine erhöhte Streuung und setzt die T. herab. Besonders stark wird die Streuung, wenn die Größe der streuenden Teilchen im Bereich der Wellenlänge des Lichts liegt (400 bis 800 nm).
- Der Brechungsindex der Glasphase im Porzellan beträgt ≈1,49, der des Quarzes 1,55 und der des Mullits 1,65. Bei konstantem Kristallgehalt wird deshalb mit steigendem Mullitanteil die T. stark herabgesetzt *(Scholze).*
- Poren wirken sich besonders ungünstig aus. Die Differenz der Brechungsindizes erreicht Werte von etwa 0,50, d. h., sie liegt noch wesentlich höher als zwischen Kristall und Glasphase.



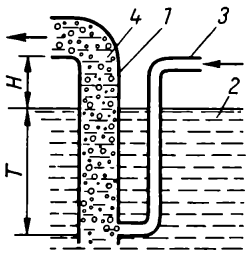
Translationsgitter (die 14 *Bravais*-Gitter)

triklin
1 primitive Elementarzelle
monoklin
2 primitive Elementarzelle
3 basiszentrierte Elementarzelle
orthorhombisch
4 primitive Elementarzelle
5 basiszentrierte Elementarzelle
6 raumzentrierte Elementarzelle
7 flächenzentrierte Elementarzelle
hexagonal
8 basiszentrierte Elementarzelle
trigonal
9 primitive Elementarzelle
tetragonal
10 primitive Elementarzelle
11 raumzentrierte Elementarzelle
kubisch
12 primitive Elementarzelle
13 raumzentrierte Elementarzelle
14 flächenzentrierte Elementarzelle

- CaO und MgO sowie höhere Brenntemperatur verbessern die T. infolge Bildung von mehr Glasphase *(Haase)*.
- Die T. wird durch Einführen von gut umwandelbaren Quarzen erhöht (*Dietzel* und *Pandurow*).

Transport, hydraulischer (griech.: hydor = Wasser) – *Förderung von dispergierten Feststoffen/Suspensionen* durch Rohrleitungen mit Hilfe strömender Flüssigkeiten.* Eine hydraulische Förderanlage besteht im wesentlichen aus einer Einschleusvorrichtung, einer Pumpanlage, einer Transportleitung und ggf. noch einem Flüssigkeitsabscheider (Hydrozyklon* u. a.).

Für den h. T. werden spezielle Pumpen wie Mohno*-, Membran*-, in Aufbereitungsbetrieben mit hohen Durchsätzen auch Mammutpumpen (s. Bild) herangezogen. Die Rohrleitungen (und



Druckluftpumpe (Mammutpumpe)
1 Steigrohr
2 Flüssigkeit-Feststoff-Gemisch
3 Luftrohr
4 Feststoff-Flüssigkeit-Gas-Gemisch

Armaturen) müssen eine hohe Korrosions- und mechanische Festigkeit aufweisen und sollen aus Verschleißgründen so konstruiert sein, daß wenig Umlenkungen auftreten. Die in den Leitungen entstehenden Druckverluste setzen sich aus innerer und Randreibung des Förderstromes zusammen.

Der h. T. ist charakterisiert durch Anpassungsfähigkeit, vergleichsweise niedrige Rauminanspruchnahme, geringe Wartung und leichte Regelbarkeit. Als wesentliche Nachteile sind der hohe Energieverbrauch, größerer Verschleiß und evtl. noch die Gefahr des Zusetzens der Leitungen zu nennen. [15]

Transport, pneumatischer (griech.: pneuma = Atem, Luftstrom) – *Förderung von dispergierten Feststoffen durch Rohrleitungen mit Hilfe von strömendem Gas.* Der p. T. wird ähnlich ausgeführt wie der hydraulische Transport*. Es kann hier jedoch mit Unter- oder Überdruck gearbeitet werden (s. Bild 1).

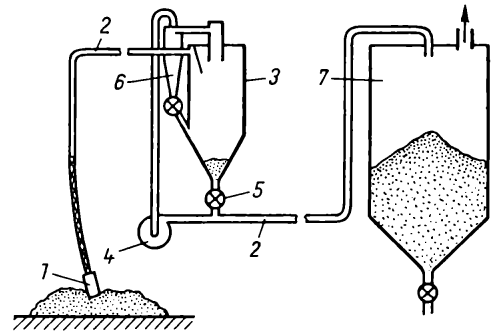


Bild 1. Saug-Druck-Förderanlage
1 Saugdüse
2 Förderleitung
3 Abscheider
4 Gebläse
5 Zellenradschleuse
6 Zyklonabscheider
7 Silo

In Abhängigkeit von der Gutsbeladung spricht man noch von Flugförderung, Fließförderung und Schubförderung (s. Bild 2). Bei Sauganlagen berei-

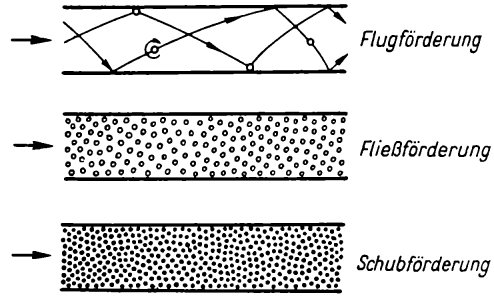


Bild 2. Förderzustände bei pneumatischen Horizontalförderern

tet die Gutsaufnahme keine besonderen Schwierigkeiten. Bei Druckanlagen muß das Gut aus der Atmosphäre gegen den Druck in das Förderrohr eingebracht werden. Als Vorrichtungen dienen in diesem Falle Injektoren und Zellenradschleusen. Für die Abscheidung des Feststoffes aus dem Gasstrom werden Zyklone und andere Vorrichtungen eingesetzt. [15]

s. Entstauben

Trennfestigkeit spröder Werkstoffe, theoretische – *Höhe der maximalen mechanischen Spannungen*, die einen fehlerfreien Körper zu*

zerstören vermögen. Nach Überlegungen von *Polany* stellt jeder Bruch eine Oberflächenvergrößerung dar, d. h., er ist begleitet von einer Zunahme der Oberflächenenergie. Der Bruch könnte nicht eintreten, wenn der zur Bildung der Bruchflächenenergie notwendige Energiebetrag nicht in Form der elastischen Verformungsenergie im unmittelbaren Bereich der Rißbildung, d. h. in einer Schicht, deren Dicke dem innermolekularen Abstand a entspricht, angeboten wird. Der Ansatz von *Polany* lautet:

$$\sigma_{\text{theor}} = \sqrt{4\gamma E/a}$$

σ_{theor} theoretische Trennfestigkeit
E Elastizitätsmodul
γ spezifische Oberflächenenergie
a Molekülabstand.

Setzt man in diese Formel die durchschnittlichen Zahlenwerte für $\gamma = 1\,\text{J m}^{-2}$, $E = 10^{11}\,\text{N m}^{-2}$ und $a = 3 \cdot 10^{-10}\,\text{m}$ ein, so erhält man als zu erwartende theoretische Trennfestigkeit Werte im Bereich 10^{10} bis $10^{11}\,\text{N m}^{-2}$. Die realen Festigkeitswerte liegen demgegenüber um etwa 2 bis 3 Zehnerpotenzen niedriger, wobei Bruchdehnungen um 0,1 % erreicht werden.
Die Modelle von *Griffith* und *Orowan* führen zu ähnlichen Ergebnissen wie der Ansatz von *Polany. Griffith* und *Orowan* gehen von Gefügeinhomogenitäten*, d. h. inneren Rissen und Kerben aus. Beim Anlegen einer Zugspannung σ_0 an den Werkstoff bildet sich eine maximale Spannung von

$$\sigma_{\text{max}} = 2\,\sigma_0 \sqrt{l/\varrho}$$

l Rißlänge
ϱ Krümmungsradius an der Rißspitze

aus. Die Rißausbreitung erfolgt, wenn die maximale Spannung die th.T. übersteigt, d.h., wenn

$$\sigma_{\text{max}} \geqq \sqrt{2E\,\gamma/\pi\,l}$$

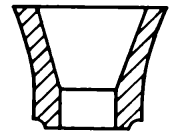
wird. Daraus ergibt sich, daß eine kritische Rißlänge von $l = 2E\gamma/\pi\,\sigma^2$ existieren muß. Die Rißlängen liegen in der Größenordnung von 1 nm bis 100 µm.
Allgemein läßt sich feststellen, daß σ_{theor} um so größer ist, je steifer der Werkstoff, je größer seine Oberflächenenergie und je geringer der Ionenabstand ist, d. h., je höher die Bindungsdichte ist. [94, 144, 359]

s. Bruchmechanik, Spannungsintensitätsfaktor, Risse, bruchauslösende

Trennschleifen – *zusammenfassende Bezeichnung für Trennen, Schneiden, Schlitzen, Putzen und Einkerben.* Beim T. von Porzellan, Steinzeug u. a. ist das Hinterspannen eines Stein- oder Holzstükkes zur Vermeidung des Splitterns und des Ausplatzens der Eckkanten angebracht. Als Faustregel gilt: harte Trennschleifkörper für weiche Werkstoffe und weiche Trennschleifkörper für harte Werkstoffe.
s. Schleifkörper

Tribochemie (griech.: tribein = reiben) – *Zweig der physikalischen Chemie – mit der Mechanochemie als Oberbegriff –, der sich mit den Reaktionen von Stoffen im aktivierten Zustand beschäftigt.* Unter letzterem versteht man eine thermodynamisch instabile Anordnung von Gitterbausteinen, die durch Einwirkungen mechanischer Energie (Stoß, Reibung) entsteht und sich durch einen Mehrgehalt an freier Enthalpie auszeichnet. Reaktionen mit aktivierten Stoffen können um Größenordnungen schneller verlaufen. Die Ursachen für dieses Verhalten liegen nach *Smekal* in einem mikroplastischen Fließen (athermisches Schmelzen) in submikroskopischen Bereichen und nach *Thiessen* in der Bildung einer quasiadiabatischen Energieblase, die ein sehr kurzlebiges Festkörperplasma darstellt.

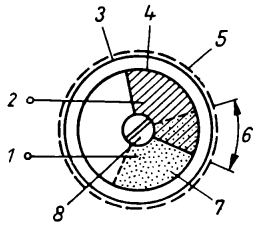
Trichterhaube – zum Stahlwerksverschleißmaterial gehörender dünnwandiger ff. Formstein (s. Bild). Die T. greift mit ihrer Feder in die Nut



Trichterhaube

des obersten Trichterrohres und begrenzt den Trichter nach oben. Das Trichterrohr steht senkrecht auf dem Königsstein und trägt den Trichter.

Trimmer – *regelbarer Kleinkondensator,* der sowohl in Scheiben- als auch in Rohrform hergestellt wird. Beim Scheibentrimmer werden zwei oder mehr Scheiben über ein Mittelloch drehbar miteinander vernietet (s. Bild S. 484). Beim Röhrentrimmer kann eine Schraube in einem keramischen Muttergewinde als bewegliche Elektrode benutzt werden.



Wirkungsweise eines Scheibentrimmers
1 elektrischer Anschluß des Statorbelages über Armaturen
2 elektrischer Abschluß des Rotorbelages über Armaturen
3 Rotor
4 Rotorbelag
5 Stator (unter dem Rotor deckungsgleich liegend)
6 Überlappung
7 Statorbelag
8 Stellschraube

Tripelpunkt (lat.: tri = drei) – *ausgezeichneter Punkt eines Einkomponentensystems, in dem drei Phasen* miteinander im Gleichgewicht stehen* (s. *Gibbs*sches Phasengesetz). Der T. ergibt sich durch den Schnitt dreier Phasengleichgewichtskurven im Zustandsdiagramm (s. Systeme).

Am T. des Wassers existieren Eis, Wasser und Wasserdampf gleichzeitig im Gleichgewicht, bei einer Temperatur von 0,010 °C und einem Druck von 61,05 kPa. Dieser T. ist Fixpunkt der internationalen Temperaturskala.

Trockenbruchfestigkeit (Trockenbiegefestigkeit) – *Widerstandsfähigkeit getrockneter Formlinge gegen äußere Kräfte* (Stoß, Biegung u. a.). Die T. der Kaoline/Tone und keramischen Massen, die Kaoline und Tone als wesentliche Bestandteile enthalten, wird u. a. von folgenden Faktoren beeinflußt, die sich z. T. auch gegenseitig bedingen.

1) Mineralbestand
Mit steigendem Kationenaustauschvermögen nimmt die T. zu. Günstig sind hohe Gehalte an Montmorillonit, mixed-layer und Halloysit. Na^+-belegte Kaoline zeigen höhere Werte als Ca^{++}-belegte, die eine sperrige Raumerfüllung aufweisen.

2) Körnungsband
Feinkörnige Tone liefern höhere Werte als die weniger feinkörnigen Kaoline. Allgemein gilt: Je höher die Packungsdichte, um so höher die T. Damit in engem Zusammenhang stehen:

- Formgebung
  Gegossene Artikel zeigen höhere Werte als gedrehte. Durch Vakuumstrangpressen gegangene Massen weisen eine geringe Porosität und damit höhere Festigkeit auf.
- Trocknungsregime und Temperatur
  Mit abnehmendem Wassergehalt steigt die T.
- Vorbehandlung der Rohstoffe und Massen
  Naßgemahlene erreichen höhere Werte als trokkengemahlene; letztere verfügen nur über ein engbegrenztes Maximum.
- Humusgehalt und evtl. zugesetzte Binder können wesentlichen Einfluß ausüben.

Zur Bestimmung der T. wird das Material auf Strangpressen zu Stäben von 26 × 21 mm Querschnitt geformt, vorsichtig bei 105 °C getrocknet und durch Biegebeanspruchung zwischen Scheiden von 200 mm Abstand zerbrochen. Die Werte für Kaoline bewegen sich etwa zwischen 1,2 und 6,5 MPa (Seilitzer Kaolin), die der Tone zwischen 1,5 und 6 MPa.

Trockenempfindlichkeit – *Neigung der Formlinge zu Deformationen und Rissen während des Trokkenprozesses.* Diese Fehler werden durch mechanische Spannungen, die die Festigkeit des Formlings überschreiten, ausgelöst und haben ihre Ursache in der mineralischen Zusammensetzung der Rohstoffe (bei Massen spielen Texturen, Magerungsgrad und Körnungsband eine Rolle) und/oder sind im Trockenregime begründet. Zur Beurteilung der T. kann die Neigung der *Bigot*-Kurve, d. h. die Schwindung im Verhältnis zur Wasserabgabe, herangezogen werden.

Trockenpressen – *Verdichtung und Formgebung körniger Arbeitsmassen mit einem Feuchtigkeitsgehalt* $< 6\,\%$. T. ist charakterisiert durch:

- Die Formlinge besitzen einen hohen Verdichtungsgrad, eine hohe Maßhaltigkeit, Scharfkantigkeit und Festigkeit.
- Es können Massen ohne bildsame Eigenschaften verarbeitet werden,
- Die Formlinge weisen geringe Feuchtigkeitsgehalte auf, so daß eine gesonderte Trocknung meist nicht erforderlich ist.
- Die Verfahren haben eine hohe Arbeitsproduktivität und sind mechanisierungs- und automatisierungsfreundlich.

Wurden Trockenpreßverfahren früher nur zum Pressen* von Artikeln in der Elektrokeramik* und Feuerfestindustrie* eingesetzt, so hat T. in den

letzten Jahren erhebliche Bedeutung zum Formen von Flachgeschirr in der Feinkeramik* erlangt. Trockengepreßtes Flachgeschirr weist gegenüber bildsam geformtem eine Reihe von Vorteilen auf, wie absolut gerade Flachgeschirrteile, höhere Trockenbruchfestigkeit* bei dünneren Scherben und damit eine Materialersparnis.

Die häufigsten Preßsysteme für T. sind: hydraulische Pressen*, mechanische Pressen (Kniehebelpressen*), Friktionsspindelpressen*, Revolverpressen*), isostatische Pressen*. [39, 111, 573]

Trockenrisse – Fehler, die während des Trokkenprozesses oder am getrockneten Formling auftreten können. T. können ihre Ursache im Körnungsaufbau, im Trockenregime und/oder nachfolgender Dehnung durch Absorption von Raumfeuchtigkeit haben. Nach *Ackermann* kann für die Neigung zu T. bei trockenverpreßten Massen das Produkt von Festigkeit und Diffusionskoeffizient des Wassers gewertet werden.

Trockenschwindung – *s.* Schwindung

Trocknung

1) Allgemein – Entfernung von Feuchtigkeit aus Feststoffen und Gasen durch mechanische Kräfte (Schleudern, Pressen u. a.), durch thermische Vorgänge oder durch Sorption.

2) Bei Gasen wird die Feuchtigkeit durch *Ausfrieren*, durch *Absorption* (z. B. durch Schwefelsäure) oder *Adsorption* (z. B. durch Kieselgel) entfernt.

3) Bei der T. keramischer Rohstoffe oder Formlinge wird die *thermische T.* angewendet, d. h. die Verdunstungs- und Verdampfungstrocknung, wobei die Feuchtigkeit durch Wärmezufuhr in den gasförmigen Zustand übergeht und die entstandenen Dämpfe abgeleitet werden. Man kann die Trocknungsverfahren folgendermaßen einteilen:

- Konvektionstrocknung – Wärmeübergang an das Gut von einem strömenden Gas (s. Bild 1),
- Kontakttrocknung – Wärmeübergang an das Gut über Kontaktflächen durch Wärmeleitung,
- Strahlungstrocknung – Wärmestrahlung von umgebenden Flächen,
- adiabate Vakuumtrocknung – durch im Gut gespeicherte Wärme,
- dielektrische T. – durch im Innern des Gutes erzeugte Wärme.

Übergänge zwischen den einzelnen Verfahren sind möglich (s. Bild 2, S. 486).

4) Beim konvektiven Wärmetransport unterscheidet man freie und erzwungene Konvektion. Freie Konvektion ist Transport von Wärme durch Gasströmungen, die durch örtliche Temperatur- bzw. Dichteunterschiede des Mediums ausgelöst werden. Als erzwungene Konvektion bezeichnet man den Transport von Wärme mit einer Strömung, die durch äußere mechanische Einflüsse erzeugt wird.

In den Trockenaggregaten (Trocknern) herrscht fast ausschließlich turbulente Strömung. Sie ist dadurch charakterisiert, daß ständig ein Teil der Strömungsenergie in regellose Bewegungen makroskopischer Turbulenzballen umgesetzt wird. Liegt in einer solchen Strömung ein Wärmegefälle vor, so erfolgt durch die Turbulenzballen ein Wärmetransport aus den Bereichen höherer Temperatur zu den Bereichen niedrigerer Temperatur. Im stationären Gleichgewicht gilt für den zeitlichen Mittelwert des Wärmestromes Q die Beziehung:

$$Q = \varepsilon_T A \frac{dT}{dx}$$

A Fläche

Konvektionstrockenverfahren

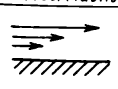
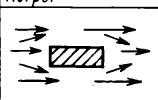
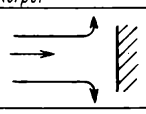
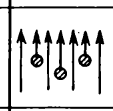
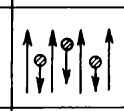
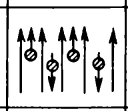
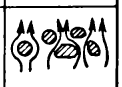
überströmte Trockengüter			schwebende Trockengüter		aufwirbelnde Trockengüter	durchströmte Trockengüter
Luft streicht über Gutsoberfläche	von Luft umströmter Körper	von Luft angeströmter Körper	mitgerissen	sinkend		
						
Bandtrockner Trommeltrockner Turmtrockner	Kammertrockner Kanaltrockner Durchlauftrockner	Teller-Bandtrockner (Feinkeramik)	Mahltrockner Zerstäubungstrockner	Schachttrockner Zerstäubungstrockner	Hazemag-Tr. Schleudertrockner	Bandtrockner

Bild 1. Prinzipielle Anordnungen bei Konvektionstrockenverfahren (nach *Krause*)

Verschiedene Trocknungsverfahren

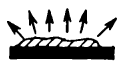
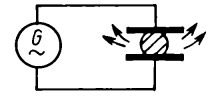
Kontakttrockner		Strahlungstrockner	verschiedene Gutserwärmung	Trocknung im elektr. Feld
Gut liegt auf Heizflächen	Gut wird umgewendet	Beheizung ein- oder zweiseitig	Konvektion, Kontakt, z.T. Strahlung	Wärmeerzeugung im Gut
				
Teller-, Band-, Walzen-, Durchlauftrockner	Tellertrockner Schneckentrockner Röhrentrockner	Infrarot-Bandtrockner	Trommeltrockner Umluft-Teller-Trockner	Hochfrequenztrockner

Bild 2. Schematische Darstellung der verschiedenen Trocknungsverfahren (nach *Krause*)

$\frac{dT}{dx}$ mittleres Temperaturgefälle

ε_T Wärmeaustauschkoeffizient (z. B. in $W(m\,K)^{-1}$), der von den Eigenschaften des strömenden Mediums und von der Beschaffenheit der Strömung abhängt.

Bei der reinen Wärmeleitung, an der nur Molekularbewegungen, jedoch keine Strömungen bzw. makroskopischen Stoffbewegungen teilnehmen, gilt für den Wärmestrom Q:

$$Q = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

λ Wärmeleitfähigkeit (z. B. in $W(m\,K)^{-1}$). λ ist im Gegensatz zu ε_T ein reiner Stoffwert, sein Wert liegt für die meisten keramischen Stoffe im Bereich $20{,}94 \leq \lambda = 838\,W(m\,K)^{-1}$. Bei 100 °C hat Luft von Normaldruck ein $\lambda = 11{,}29\,W(m\,K)^{-1}$.

Das Prinzip der Wärmestrahlung beruht auf der Umwandlung von Wärme in elektromagnetische Wellen, die sich im Raum ausbreiten und sich beim Auftreffen auf Substanz wieder in Wärme zurückwandeln. Der Wärmetransport durch Strahlung ist an folgende Bedingungen geknüpft:

- zwischen Strahler und Trockengut muß eine Temperaturdifferenz bestehen,
- das Medium zwischen beiden Körpern muß strahlungsdurchlässig sein,
- das Trockengut muß die Strahlung absorbieren.

Falls der Strahler mit einem Reflektor ausgestattet ist und das Trockengut als unendlich ausgedehnt betrachtet werden kann, gilt

$$Q = A_1 C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

A_1 Oberfläche des Strahlers

C_1 Strahlungskonstante des Strahlers (z. B. in $kJ\,m^{-2}\,h^{-1}\,(100\,K)^{-4}$)

T_1 Temperatur des Strahlers (in K)

T_2 Temperatur der Gutsoberfläche (in K).

Bei den meisten technischen Trocknungen handelt es sich um eine komplizierte Überlagerung von Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung, so daß man bei Berechnungen zweckmäßig auf einen von *Newton* stammenden Ansatz zurückgreift:

$$Q = \alpha A (T_L - T_G)$$

α Wärmeübergangskoeffizient (z. B. $kJ\,m^{-2}\,h^{-1}\,K^{-1}$); er muß experimentell bestimmt werden

T_G mittlere Temperatur der Gutsoberfläche

T_L mittlere Temperatur des Trocknungsgases (sie ist in turbulenten Strömungen nahezu konstant).

5) Zur Durchführung der *technischen T.* steht eine große Zahl von Trocknerbauarten zur Verfügung. Für ihre Einteilung können verschiedene Kriterien herangezogen werden: die Art der Wärmezuführung, der Temperatur- und Druckbereich, die Beheizung, die Gasführung, die Art der Gutsförderung, die Vorbereitung des Gutes und die Verweilzeit des Gutes im Trockner. Der Prozeß wird überwacht mit Hilfe von Thermometern, Thermoelementen, Hygrometern, Psychrometern, Manometern, Zeitplan- und Programmreglern u. a. In der Industrie gebräuchlichste Trockner sind:

Konvektionstrockner
Das sind Anlagen, in denen annähernd atmosphärischer Druck herrscht. Aus wärmewirtschaftlichen Gründen wäre es günstig, mit hohen Trocknungstemperaturen zu arbeiten, doch dürfen in den meisten Fällen die Gutstemperatur und die Temperaturanstiegsgeschwindigkeit einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Das Trocknungsmittel wird in der Regel parallel zur Bewegungsrichtung des Gutes im Gleich- oder Gegenstrom geführt, bei lockerem Gut ist auch Durchströmen möglich (für trocknungsempfindliche Güter ist jedoch das Gegenstromverfahren nicht immer geeignet). Man unterscheidet (s. Bilder 3 bis 7):
– ruhendes Gut in turbulenten Gasströmungen *(Trockenkammern)*
Stationär eingebaute Lüfter leiten je nach Trocknungsstufe Frisch- oder Umluft über Heizkörper durch das auf Horden o. a. befindliche Gut; Luftgeschwindigkeiten 1,5 bis 3,0 m s^{-1}. Freilufttrockner nutzen die natürliche Luftwärme und -strömung aus. Trockenschränke sind mit mehr oder weniger komplizierter Luftumwälzung ausgerüstet. Als Sonderform sind noch *Feuchtlufttrockner* zu nennen: Das Trockengut wird durch feuchte, warme Luft aufgewärmt und später durch trockene, warme Luft getrocknet. Der Formling trocknet von innen nach außen infolge der verminderten Oberflächenspannung des Wassers und der Kapillarwirkung der Poren.

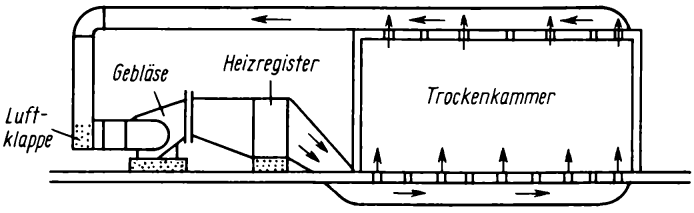
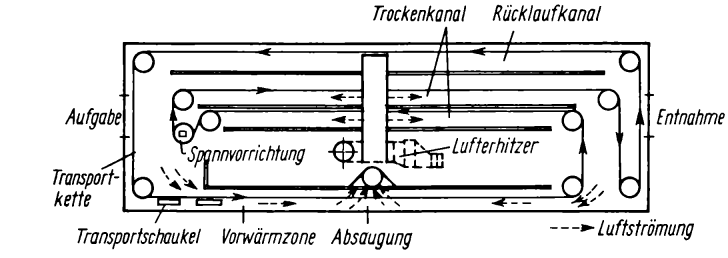


Bild 3. Trockenkammer mit vertikaler Luftumwälzung



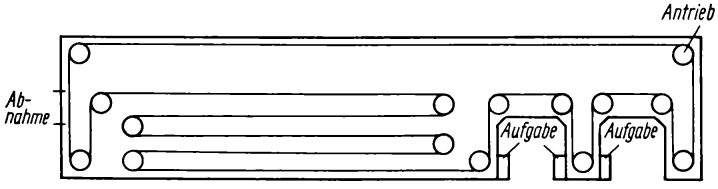


Bild 4. Trockenschränke (Schaukeltrockner)

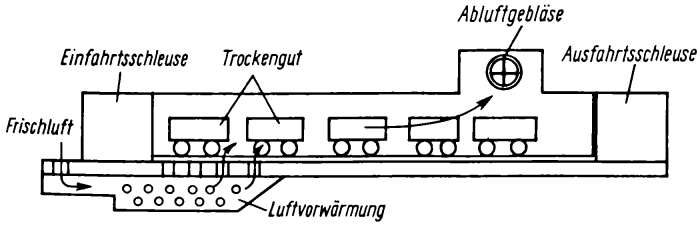


Bild 5. Tunneltrockner

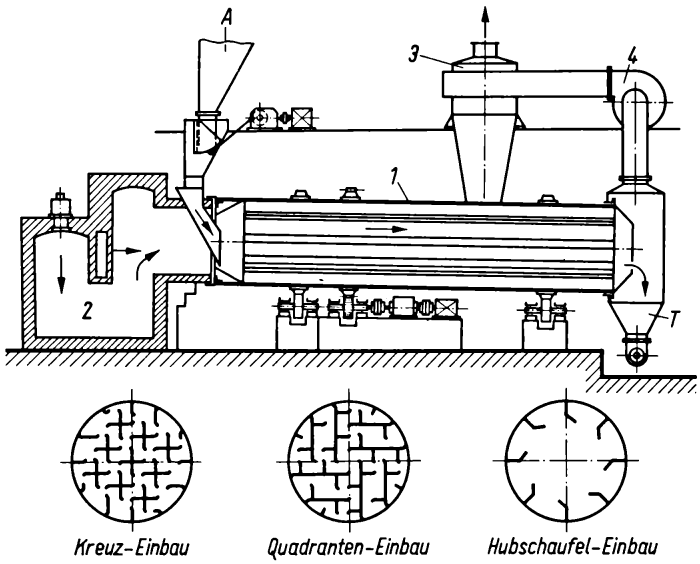


Bild 6. Gleichstrom-Trommeltrockner (nach *Kröll*)
1 Trommel
2 Brennkammer
3 Staubabscheider
4 Abgasventilator
A Aufgabegut
T getrocknetes Gut

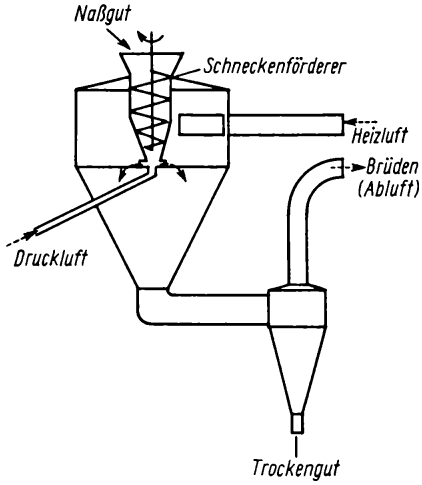


Bild 7. Sprühtrockner (Zerstäubungstrockner) für flüssige und pastöse Naßgüter

- ruhendes Gut auf bewegter Unterlage *(Bandtrockner)*
  Das Gut wandert durch den Trockner. Die Belüftung kann parallel zur Bandbewegung oder im Querstrom erfolgen. Bandtrockner werden für schonende T. herangezogen. Im *Tunneltrockner* wird das Gut auf Hordenwagen mit schrittweisem Vorschub durch die Anlage befördert. Tunneltrockner arbeiten oft im Gegenstromprinzip, haben Feuchtluftrückführung und eignen sich zum Schnelltrocknen und Nachtrocknen von empfindlichem Gut.
- mittels mechanischer Hilfen bewegtes Gut *(Trommeltrockner)*
  Das Gut wandert durch eine sich drehende Trommel, deren Längsachse schwach zur Horizontalen geneigt ist. Um das Gut beim Durchgang fortwährend umzulagern, sind im Innern Einbauten angebracht. Getrocknet werden Rohstoffe und Massen.
- durch das strömende Trocknungsmittel bewegtes Gut *(Zerstäubungs- oder Sprühtrockner)*
  Feststoffreiche Suspensionen werden mittels Fliehkraftzerstäubers in einem zylindrischen Kessel zerteilt und dem heißen Trocknungsmedium ausgesetzt. Durch Zerteilung in mehr oder weniger feine Tröpfchen wird eine große Wärmeübergangsfläche erzeugt. Außerdem beeinflußt die Tropfengröße maßgeblich die Körnung des Trockengutes, das sich im Auffangtrichter der Anlage sammelt. Diese letzte Gruppe zählt man zu den *Kurzzeittrocknern.*

Kontakttrockner

Man unterscheidet:

- Geräte, bei denen das Gut ständig festen Kontakt mit der Heizfläche hat, z. B. der *Walzentrockner* bei der Herstellung keramischer Folien.
- Geräte, bei denen das Gut auf den Heizflächen

immer wieder umgelagert wird, z. B. der *Röhrentrockner*, der aus einem drehbaren Trommelkörper besteht, in dem sich innen beheizte Längsrohre befinden. Beim Durchgang durch die Trommel wird das Gut immer wieder angehoben und rieselt über die Heizrohre ab. Röhrentrockner zeichnen sich durch geringe Staubentwicklung aus, sind aber wärmetechnisch ungünstiger als Konvektionstrockner.

s. Mahltrocknung, Infrarottrocknung, Hochfrequenztrocknung, *Bigot*-Kurve, Zerstäubungstrocknung

Trommelmühlen – *Zerkleinerungsmaschinen, für die ein horizontal gelagerter, zylindrischer oder zylindrisch-konischer, rotierender Mahlraum – die Trommel – charakteristisch ist* (s. Bild 1). In der ausgemauerten (Silex, Glossex, Steatit, Porzellan, Sinterkorund) Trommel befindet sich das Mahlgut mit den Mahlkörpern. Bei der Drehung der Trommel wird der Inhalt umgewälzt bzw. gestürzt und dabei das Mahlgut zerkleinert. Die Mahlwirkung wird bestimmt durch den Bewegungsablauf der Mahlkörper, d. h., sie ist abhängig von

- Drehzahl und Durchmesser der Trommel,
- Art und Größe der Mahlkörper,
- den Reibungsverhältnissen auf der Mühlenwand und innerhalb der Mahlkörperfüllung.

Das Mahlgut zwischen den Mahlkörpern kann trocken oder als Trübe* vorliegen. T. dürfen nur mit Drehzahlen betrieben werden, die es der Füllung noch ermöglichen, sich von der Wand zu lösen (s. Bild 2). Im Abschnitt $A-A'$ bis $B-B'$ ist die

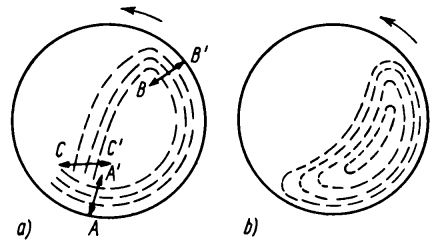


Bild 2. Mahlkörperbewegung in Kugelmühlen
a) Kataraktwirkung
b) Kaskadenwirkung

Resultierende aus radialer Schwerpunktkomponente und Zentrifugalkraft nach außen gerichtet, d. h., die Füllung wird gegen die Trommelwand gedrückt und das Gut durch Druck und Scherung auf Abrieb *(Kaskadenwirkung)* beansprucht. Dabei sind die Reibungsverhältnisse entscheidend, d. h., ob Mahlkörper und Trommel gleiche Winkelgeschwindigkeiten haben. Der Verlauf im Abschnitt $B-B'$ bis $C-C'$ hängt v. a. von der Drehzahl, dem Mühlendurchmesser und der Art der Mahlkörperfüllung ab; kommt es zum Sturz, wird das Gut durch Schlag zerkleinert *(Kataraktwirkung)*. Mit T. erreicht man Feinheiten von 1 bis 20 µm. Nach einer Faustformel wird das Füllungsverhältnis

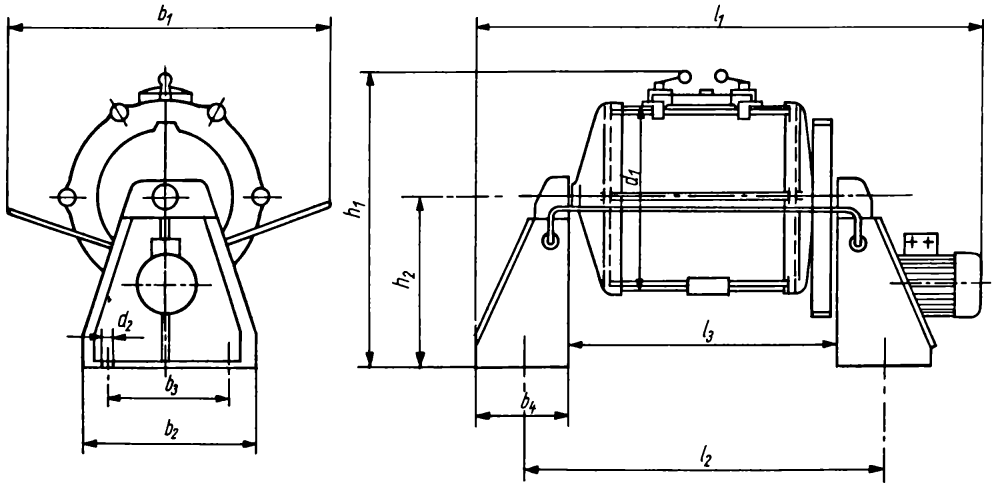


Bild 1. Trommelmühlen aus Hartporzellan mit Ständer und Antrieb. Die Buchstaben sind Kurzbezeichnungen für Detailgrößen.

Mahlkörper : Mahlgut : Wasser mit 1:1:1, die Drehzahlen für Naßmahlen mit

$$n = \frac{24}{\sqrt{D}},$$

für Trockenmahlen mit

$$n = \frac{34}{\sqrt{D}}$$

D Trommeldurchmesser (in m)
n Drehzahlen (in min^{-1})

angesetzt.

Etwas vereinfachend kann man T. einteilen in
- Kugelmühlen mit Kugeln als Mahlkörper und einem Verhältnis von Länge L zu Durchmesser D des Mahlraumes bis 2:1,
- Stabmühlen mit Stäben als Mahlkörper,
- Rohrmühlen mit Kugeln oder anderen Mahlkörperformen, L:D bei 2:1 bis 8:1.

Allgemein: *Trockenmahlung* wird vorwiegend zur Herstellung feindisperser Tonerden herangezogen; die Pulver ergeben eine höhere Grünlingsdichte. Als Nachteile sind zu nennen: ungünstiges Verhältnis von Mahlkörpern zu Mahlgut, Agglomeratbildung, elektrostatische Aufladung der Feststoffteilchen, Staubbildung.

Naßmahlung hat einen höheren Nutzungsgrad des Mahltrommelvolumens, einen geringeren spezifischen Energiebedarf, und sie kann besser an die Nachfolgetechnologie angepaßt werden. [123]

Trommelsiebmaschinen – *Klassiermaschinen zur Trennung eines Siebgutes in mehr als zwei Fraktionen.* Die Trennflächen von T. sind zylindrisch, verschiedentlich auch 6- oder 8eckig angeordnet. Das Siebgut wird an einer Stirnseite aufgegeben und in den um ihre Achse rotierenden Trommeln durch ständige Umwälzung klassiert, wobei gleichzeitig ein axialer Transport erfolgt. Zur Vermeidung von Verstopfungen kann die Maschine in Schwingungen versetzt werden (s. Bild). [330]

Trübe – *in der Aufbereitungstechnik gebräuchliche Bezeichnung für Aufschlämmungen* (Suspensionen*). Die für eine Schwimm-Sink-Sortierung charakteristische Eigenschaft einer Schwertrübe ist die Trübedichte ϱ'; für sie gilt:

$$\varrho' = (m_s + m_l)/(V_s + V_l)$$

m_s bzw. m_l im Trübvolumen $V_{Tr} = V_s + V_l$ enthaltene Feststoff- bzw. Flüssigkeitsmasse (s = solidus = fest, l = liquidus = flüssig).

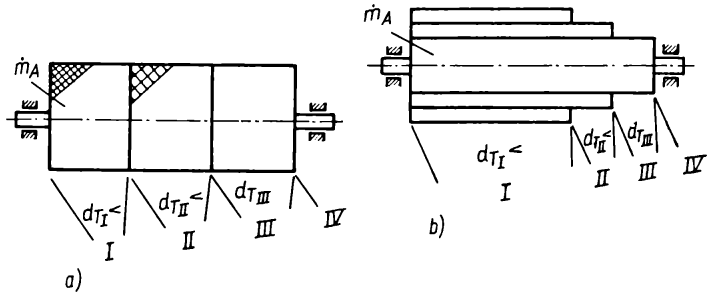
Weiterhin ist definiert:
Feststoffvolumenanteil in der Trübe:
$\beta = V_s/(V_s + V_l)$,
Feststoffgehalt in der Trübe: $c_s = m_s/(V_s + V_l)$.
[15]

Trübungsmittel – *Substanzen, Partikelchen, die durch Brechung, Reflexion und Beugung der Lichtstrahlen eine transparente Glasur undurchsichtig machen und ihr, wenn sie Licht nicht selektiv absorbieren, eine weiße Farbe verleihen.*

Diese Partikelchen können sein:
- ein feinverteilter Rohstoff, der von der Glasur nicht gelöst wurde und nicht mit ihr reagiert, z. B. CeO_2, SnO_2, ZrO_2, in einem Temperaturbereich von 900 bis 1 100 °C auch Anhydrit* und Calcit* [516],
- beim Abkühlen ausgeschiedene Stoffe, z. B. TiO_2,
- durch Entmischung bei niederen Temperaturen gebildete Kristallisationszentren,
- Gasbläschen.

Die Intensität der Trübung hängt in der Hauptsache von der Differenz der Brechzahlen von Glasur und T., von der ausgeschiedenen Menge der Partikeln sowie deren Korngröße ab.

***Tschirnhaus*, Walter Ehrenfried** (von 1651



Schema horizontaler, geneigter Trommelsiebmaschinen
a) zusammengesetzte Bauweise
b) Blockbauweise
m_A Aufgabegut
d_T Fraktionen

bis 1708) – *Mathematiker, Philosoph und Naturwissenschaftler.* Auf dem Gebiet der Glasherstellung entwickelte er Versätze für Kristallgläser und konstruierte Schmelz- und Schleifvorrichtungen. Sein Anteil an der Erfindung des europäischen Porzellans besteht darin, daß er *Böttger* an das Porzellanproblem herangeführt und ihm Anleitung für keramische Arbeiten gegeben hat.

Tunnelofen (Kanalofen) – *langgestreckter (6 bis 130 m), tunnelartiger, kontinuierlich arbeitender Industrieofen* zum Brennen keramischer Erzeugnisse und Halbfabrikate. Thermodynamisch gesehen handelt es sich um zwei hintereinandergeschaltete Wärmeaustauscher: im ersten wird das Einsatzgut erhitzt und gebrannt, und im zweiten wird das Einsatzgut gekühlt, gibt also seine Wärme wieder ab.

T. sind charakterisiert durch große Übersichtlichkeit, gute Wärmewirtschaft, schnelles Brennen und hohen Durchsatz, d.h., sie sind besonders für Fließfertigung geeignet und bestimmen praktisch den Ablauf der Produktion. Die Ware wird außerhalb des Ofens auf Tunnelofenwagen (TOW) gesetzt, wandert in einer dem Brennprozeß entsprechenden Zeitfolge (Brennkurve*) durch das stationäre Feuer und wird schließlich außerhalb des Ofens wieder abgenommen (s. Bild 1).

T. können mit Gas, Öl oder elektrisch betrieben werden. Nach der Konstruktion unterteilt man üblicherweise in die Abschnitte Vorwärm-, Brenn- und Kühlzone.

- Vorwärmzone
  Hier beginnt die Aufwärmung der Ware. Die erforderliche Wärmeenergie liefern die Rauchgase, die aus der Brennzone kommen. Da in der Vorwärmzone ein gewisser Unterdruck herrschen muß und damit die Gefahr des Eintritts von Falschluft besteht, ist die Ofeneinfahrt mit Jalousie- oder pneumatischem Verschluß versehen. Die Rauchgase verlassen schließlich den Ofen durch Abzüge, sog. Füchse, in den Rauchgassammelkanal. Im letzten Abschnitt der Vorwärmzone wird die Ware außer von den durchströmenden Rauchgasen bereits von einer Anzahl Brennern, die in größeren Abständen angeordnet sind, erhitzt.
- Brennzone
  Hier liefern Brennersysteme die notwendige Wärme zur Sinterung*. Die Brenner sind zu beiden Seiten bzw. in der Decke des Ofens angeordnet. Ein T. für Porzellanbrand von 80 bis 90 m Länge besitzt etwa 40 bis 50 Brenner je Ofenseite. Als Brenner kommen je nach Art des Heizmediums meist Hochgeschwindigkeitsbrenner*, Wirbelstrombrenner*, Parallelstrombrenner* und Impulsbrenner zum Einsatz. Um

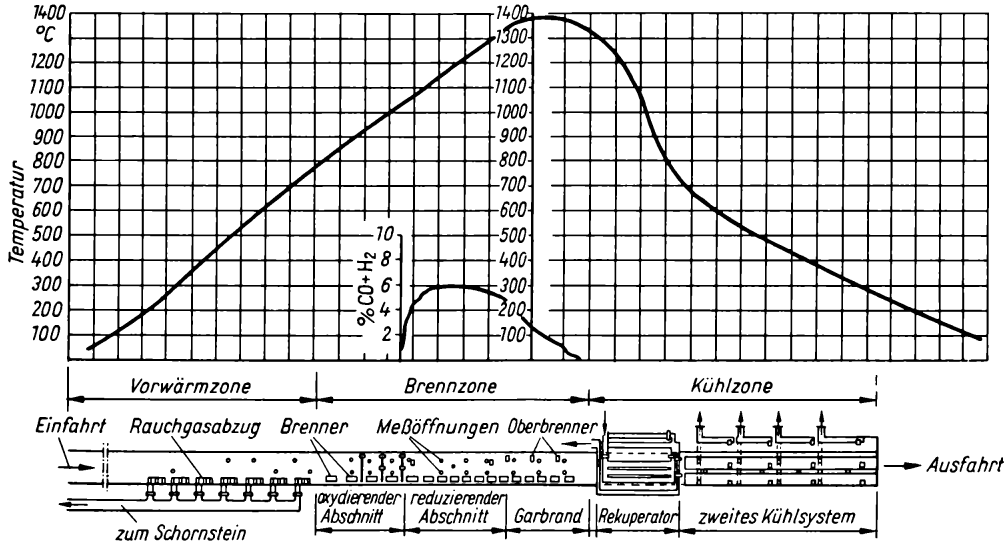


Bild 1. Temperaturverlauf beim Glattbrand im Tunnelofen

bei Temperaturänderungen nicht jeden einzelnen Brenner verstellen zu müssen, sind jeweils 5 bis 10 Brenner zu Regelgruppen zusammengefaßt. Die erforderliche Verbrennungsluft wird über das Rekuperatorsystem herangeführt, ggf. auch Frischluft. Um Falschlufteinbrüche zu vermeiden, wird mit leichtem Überdruck (5 bis 20 Pa) gefahren.

- Kühlzone
  im ersten Abschnitt der Kühlzone wird ein Teil der im Brenngut gespeicherten Wärme über ein Rekuperatorsystem auf die Verbrennungsluft übertragen. Im weiteren Verlauf gibt das Brenngut die restliche Speicherwärme an die durchströmende Schiebeluft und/oder an das Mauerwerk der Kühlzone ab. Die Abkühlung erfolgt gezielt, wobei großformatiges und dickwandiges Brenngut allgemein eine langsame Kühlung erfordert. Kleinformatige und dünnwandige Erzeugnisse erlauben eine schnellere Kühlung.

Durch ein umfassendes Meß-, Steuer- und Regelsystem wird eine vollautomatische Betriebsweise des T. erreicht. Im einzelnen werden überwacht und registriert:

- der Temperaturverlauf im Ofen sowie über dem TOW-Querschnitt,
- die Brenngase (Heizwert, Druck, Menge, Gasausfall),
- das Gas-Luft-Verhältnis,
- die Ofenatmosphäre,
- die Zusammensetzung und Temperatur der Abgase,
- der Wagenvorschub.

Aus Gründen einer rationellen Energieanwendung kommt der Konstruktion der Tunnelofenwagen eine besondere Bedeutung zu (s. Bild 2). Einmal soll die Masse der feuerfesten Wagenaufmauerung gering sein (geringe Speicherwärme), andererseits muß sie die gesamte Besatzmasse tragen und die Wärmeabgabe nach unten in den Begehungskanal weitgehend verhindern. Die Abdichtung des Brennkanals zum Begehungskanal erfolgt mit einer Labyrinthdichtung und einer Sandrinne, in der Blechschürzen, die an den Seitenwänden der Wagen angebracht sind, gleiten. Die Stirnseiten der Wagen werden mit Nut und Feder und/oder Asbestschnur abgedichtet. Bei Havarien kann vom Begehungskanal aus der Wagenzug getrennt werden. Die Durchfahrt der TOW wird durch eine hydraulische Schubvorrichtung gewährleistet.

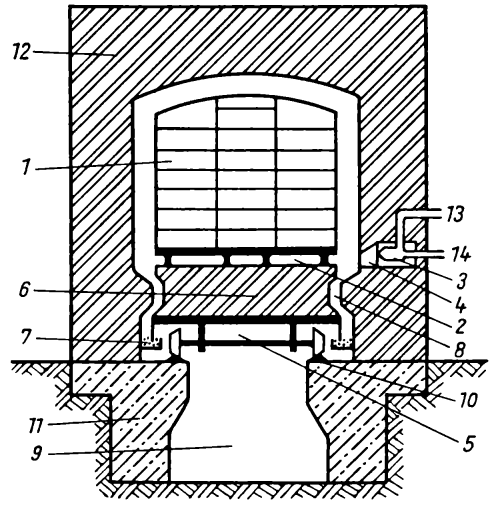


Bild 2. Querschnitt eines Tunnelofens (schematisch)

1 Brenngut mit Brennhilfsmittel	*7* Sandring
2 Hohlpodium	*8* Labyrinth
3 Brenner	*9* Begehungskanal
4 Brennkammer	*10* Ofengleis
5 TOW-Chassis	*11* Fundament
6 feuerfeste Wagenaufmauerung	*12* Ofenmauerwerk
	13 Luftleitung
	14 Gasleitung

Die Leistung eines T. ist festgelegt durch Ofenlänge, Kanalbreite und -höhe, Ofenzeit (Zeit vom Einfahren bis zur Ausfahrt der TOW) und Setzweise. Der Platzbedarf für eine Ofenanlage ist groß, da auf einem Schienensystem um den Ofen immer genügend TOW zum Besetzen und Entleeren (einschließlich Bereitstellung besetzter Wagen für das Wochenende) bereitstehen müssen. T. werden in Ziegelbauweise und z.T. auch in Montagebauweise errichtet. [157, 223]

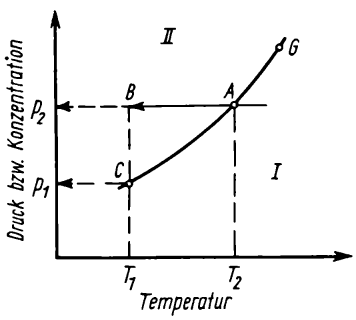
s. Schnellbrandöfen

Tuschen – in der keramischen Handmalerei eine Bezeichnung für das Schattieren der Blume oder des Buketts in Farbe im Sinne einer Schwarzweiß- oder Sepiazeichnung.

U

Übergangstonerde – *durch thermische Dehydroxylation/Calcination* von Aluminiumhydroxiden bzw. γ-Al_2O_3 gewonnene Tonerde.* Obwohl der Hauptanteil bereits röntgenographisch die α-Struktur aufweist, liegt noch eine gewisse Aktivität* als Zeichen einer nicht vollständigen Umsetzung vor. Zur Bestimmung des Umwandlungsgrades werden Reindichtebestimmungen, röntgenographische Methoden und Färbungsreaktionen mit Alizarin S angewandt. [14, 123, 159, 229]

Überschreitung – *zusammenfassender Begriff für die Ausdrücke Übersättigung und Unterkühlung.* Der Grad der Ü. ist durch die Differenz der thermodynamischen Potentiale gegeben. Im *p-T*-Diagramm mit den Phasen Dampf/Festkörper bzw. im *c-T*-Diagramm mit den Phasen Lösung/Festkörper (s. Bild) stellt die Kurve CAG die Gleichgewichtskurve dar; beim Übergang vom Punkt A→B kann die Ü. unmittelbar als $\Delta p = p_2 - p_1$ abgelesen werden.



Überschreitung: Druck bzw. Konzentration in Abhängigkeit von der Temperatur

Überspannung, elektrische – *allgemein eine von der Nennspannung abweichende Betriebsspannung, wobei meist bis 10% Abweichung zugelassen sind.* Atmosphärische Entladungen, Schaltvorgänge, plötzliche Belastungsänderungen, Kurz- und Erdschlüsse können Ü. auslösen, die zur Zerstörung der Isolation führen. Schutz gegen Ü.:

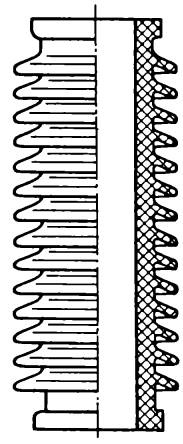
- Einrichtungen, die das Entstehen von Ü. erschweren, z. B. Erdseile über Freileitungen in Hochspannungsnetzen, Vorkontakte mit Reihenschlußwiderständen an Schaltern,
- Vorrichtungen, die Schäden durch Ü. vermeiden, z. B. Ventilableiter mit spannungsabhängigen Widerständen und sog. *Hörnerableiter* (hörnerförmige Ausladungen an den Armaturen von Hochspannungsisolatoren, die Überschläge vom Isolierkörper fernhalten).

Ü., die sich infolge atmosphärischer Entladung längs der Leitungen wellenartig fortpflanzen, nennt man *Wanderwellen.*

s. Ventilableiter.

Überstruktur – *eine besonders bei metallischen Mischkristallen zu beobachtende geordnete Atomverteilung, bei der jede Komponente ein einheitliches Translationsgitter aufbaut.* Ü. treten nur in eng begrenzten Mischungsverhältnissen und bestimmten Temperaturbereichen auf. Im Röntgendiagramm sind Ü. als deutlich erkennbare Überstrukturlinien zu identifizieren.

Überwurf (Schutzisolator) – *ein meist zylinderförmiger Isolierkörper* mit im Innern durchgehend offenem Hohlraum, der als Schutzmantel für elektrotechnische Einrichtungen bestimmt ist (s. Bild).



Überwurf

Überzüge, keramische (auf Metallen) – *Schichten in Dicken von 30 bis 200 µm zum Schutze gegen Korrosion*, Oxydation, Abrasion, Erosion sowie zur thermischen und elektrischen Isolierung.* Das Aufbringen der k. Ü. kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen:

- Emaillierung*,
- chemische Gasphaseabscheidung (CVD*),
- physikalische Gasphaseabscheidung (PVD*),
- Plasmaspritzen* (nach diesem Verfahren können praktisch alle hochschmelzenden Stoffe,

wie Al_2O_3, Cr_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Carbide*, Boride*, Nitride*, Silicide in Pulverform, aufgetragen werden).

Die Sitzfestigkeit von thermisch aufgetragenen Schichten beruht vorwiegend auf einer mechanischen Haftung; bei durch Plasmaspritzen aufgetragenen Schichten wird das Vorliegen einer chemischen Bindung an der Grenzfläche vermutet.

s. Sputtern, Hochratezerstäubung, Engoben.

Ulexit – *s.* Borminerale

Ultrarotspektroskopie (lat.: ultra = jenseits von) – *s.* Infrarotspektroskopie

Ultraschallprüfung – *zerstörungsfreies Untersuchungsverfahren von Großkörpern aus Porzellan und feuerfesten Steinen auf Inhomogenitäten wie Lunker, Risse u. a.*

Ultraschallwellen sind mechanische Schwingungen oberhalb der Hörbarkeitsgrenze (>20 kHz). Man unterscheidet dabei

- Longitudinalwellen oder Druckwellen; die Masseteilchen schwingen um ihre Ruhelage in Richtung der Schallfortpflanzung,
- Transversal- oder Schubwellen; die Masseteilchen schwingen senkrecht zur Schallausbreitungsrichtung.

Ultraschall erfährt allgemein in Festkörpern eine Schwächung, sie setzt sich zusammen aus:

- Absorption, verursacht durch Reibung, Wärmeleitung und molekulare Relaxationsprozesse* (Bei keramischen Werkstoffen kann man in erster Näherung annehmen, daß die Absorption im Frequenzbereich 50 kHz bis 10 MHz proportional zur Frequenz zunimmt.),
- Streuung; sie hat ihre Ursache im Gefüge* des Scherbens. Trifft die Schallwelle auf eine Pore, so wird sie aus ihrer eigentlichen Richtung abgelenkt, ein Teil der Energie wird reflektiert und ein anderer Teil in andere Energiearten umgewandelt.

Die wichtigsten Funktionseinheiten eines Ultraschallgerätes gibt Bild 1 wieder.

Prüfverfahren

1) Impuls-Reflexionsverfahren

Es wird bei Frequenzen oberhalb 1 MHz zur Untersuchung von Werkstoffen mit kleiner Schallschwächung (Porzellan, Glas) herangezogen. Hier sind Sender und Empfänger parallel an einen piezoelektrischen Wandler angeschlossen. Dieser gibt für die Dauer des Sendeimpulses einen mechanischen Impuls ab und wirkt anschließend in der

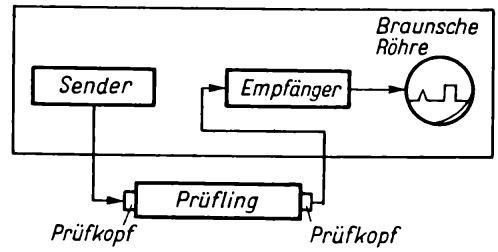


Bild 1. Blockschaltbild eines Ultraschallgerätes

Zeit bis zum nächsten Sendeimpuls als Empfänger. Auf diese Weise wird der mechanische Impuls nach Durchlaufen des Prüflings als Rückwandecho (RE) sichtbar. Die wichtigsten Messungen sind:

- Fehlerortung
  Das Prinzip der Fehlerortung wird aus Bild 2 ersichtlich (nach *Frielinghaus*).

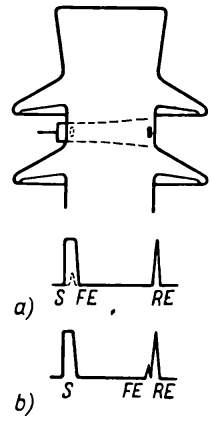


Bild 2. Nachweis von unmittelbar unter der Glasur liegenden Fehlstellen
Schematische Leuchtschirmbilder
a) Anzeige bei prüfkopfnaher Fehlerlage
b) Anzeige bei prüfkopfferner Fehlerlage (nach Drehung des Isolators um 180°)
S Sendeimpuls
RE Rückwandecho
FE Fehlerecho

- Messung der Schallgeschwindigkeit
  Sie kann bei modernen Geräten direkt auf dem Leuchtschirm abgelesen werden. Bild 3 zeigt

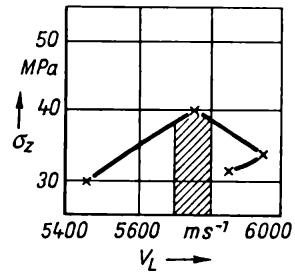


Bild 3. Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Ultraschallgeschwindigkeit

die Abhängigkeit der Zugfestigkeit eines Porzellans von der Ultraschallgeschwindigkeit als Tendenzdiagramm. Danach liegt die optimale mechanische Festigkeit nicht bei der höchsten Dichte des Werkstoffes (entsprechend der höchsten Schallgeschwindigkeit).

2) Impuls-Durchschallungsverfahren

Bei Prüfkörpern mit hoher Schallschwächung muß man mit Frequenzen <1 MHz arbeiten. Infolge der schlechten Schallbündelung ist bei diesen Frequenzen kein Echo-Impulsbetrieb möglich, deshalb wird hier mit dem Durchschallungsverfahren mit getrenntem Sender und Empfänger nach Bild 4 geprüft. Die wichtigsten Messungen sind hierbei:

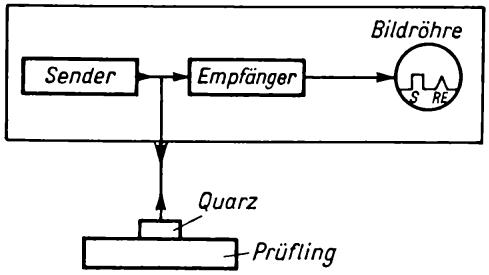


Bild 4. Schematische Darstellung des Durchschallungsverfahrens (nach [251])

- Fehlernachweis
  Er erfolgt über die Amplitude der Durchschallungsanzeige; sie wird mit Hilfe eines fehlerfreien Teils auf eine bestimmte Höhe eingestellt. Wird jetzt ein fehlerhaftes Stück untersucht, so schattet der Fehler einen bestimmten Teil des vom Sendekopf abgestrahlten Schalles ab, d. h., die Durchschallungsanzeige wird kleiner oder gänzlich ausfallen.
- Messung der Laufzeit
  Dazu werden zwei Laufzeitnormale unterschiedlicher Länge justiert und anschließend die Laufzeit des Prüflings gemessen.

[168, 251, 252, 253]

Umluft – *die dem Trockner wieder zugeführte Abluft.* Bei der U.-Trocknung wird das Trocknungsmittel im Kreislauf durch den Trockner geführt.

Umrißmalerei – *eine Konturenmalerei mit figürlichen und ornamentalen Darstellungen.* Die mit dem Pinsel umrissene Partie wird schraffiert, punktiert und andersfarbig koloriert.

Umwandlungen – *sprunghafte Änderungen der Struktur und/oder Eigenschaften eines Stoffes bei Änderung von Temperatur und Druck.*

Man unterscheidet:

- *U. 1. Ordnung* oder *Phasenumwandlungen* – Modifikationsänderungen oder Änderung des Aggregatzustandes unter genau definierten äußeren Bedingungen von Druck und Temperatur; bei jeder Phasenumwandlung wird Umwandlungswärme verbraucht oder freigesetzt, z. B. Eis $\rightleftharpoons$ Wasser.
- *U. 2. Ordnung* oder *Lambda-Umwandlungen* – in einem bestimmten Druck- und Temperaturbereich stattfindende Änderungen des Schwingungs- und Rotationszustandes der Moleküle oder Umordnungsvorgänge der Gitterbausteine eines Kristalls, die nicht mit der Ausbildung einer neuen Phase verbunden sind, z. B. Übergang vom ferromagnetischen in den paramagnetischen Zustand bei Ferromagnetika am *Curie*punkt.
- *U., displazive* – eine Art von U. 1. Ordnung, bei denen keine Bindungen aufgebrochen werden, sondern die nur auf einer Verschiebung der Atomlagen und/oder Änderung des Bindungswinkels beruhen und nicht einfrierbar sind, z. B. Hoch-Tief-Umwandlung der SiO_2-Modifikationen.
- *U., rekonstruktive* – eine Art von U. 1. Ordnung, bei der die Bindungen aufgebrochen werden und ein völlig neues Gitter aufgebaut wird, z. B. U. Quarz-Cristobalit.

U. können auch durch nichtthermische Energiezufuhr erzwungen werden, und zwar durch

- Bestrahlung mit energiereichen Teilchen (Atomen, Neutronen, γ-Strahlen),
- Einwirkung mechanischer Kräfte (Reiben, Mahlen, Prallbeanspruchung); hierbei treten hohe Gitterdefektkonzentrationen auf, die bis zur Amorphisierung gehen können.
  Eine besonders intensive mechanische Einwirkung verursachen Schockwellen (Explosionen) im µs-Bereich.

Nichtthermisch induzierte U. stellen im allgemeinen keine thermodynamischen Gleichgewichtszustände dar. [64]

s. Modifikation, Morphologie

Umwandlungswärme (Umwandlungsenthalpie, latente Wärme) – *bei jeder Phasenumwandlung verbrauchte oder freigesetzte Wärme.* Sie wird entweder als molare U. auf 1 Mol oder als spe-

zielle U. auf 1 g bezogen. *Schmelz- und Verdampfungswärme* führen zu höheren Energieinhalten des Systems und erhalten deshalb ein positives Vorzeichen, dagegen werden *Kondensations- und Kristallisationswärme* mit negativen Vorzeichen angegeben. Sie vermindern den Energieinhalt des Systems.

Ungleichgewicht – *ein nicht bis zum Ende, d. h. bis zum thermodynamischen Gleichgewicht, abgelaufener Vorgang.* Bei keramischen Systemen liegen häufig U. vor, die folgende Ursachen haben können:

- zu geringe Reaktionsgeschwindigkeit,
- Keimbildungsschwierigkeiten,
- unvollständige Resorption von Erstausscheidungen,
- Anwesenheit von Inhibitoren,
- unterschiedliche Beweglichkeiten der verschiedenen Atome/Ionen bei Festkörperreaktionen.

s. Gleichgewicht, *Ostwald*sche Stufenregel

Unterglasurdekor – *Dekor, das auf den hartgetrockneten oder verglühten Formling aufgetragen, nachfolgend mit Glasur überzogen und im Glattbrand eingebrannt wird.* U. sind sehr dauerhaft, da sie durch die widerstandsfähige Glasur geschützt werden. Jedoch ist die Farbpalette der U. begrenzt, denn nur wenige keramische Farben halten den korrodierenden Angriffen der fließenden Glasur beim Glattbrand stand. Bei den zur Unterglasurdekoration verwendeten Unterglasurfarben handelt es sich im wesentlichen um Farbkörper (vom Spinelltyp) und in geringerem Umfange um Farbstoffe (Oxide u. a.) und Farblösungen.

Farblösungen sind leicht lösliche Chloride oder Nitrate der Schwermetalle Cobalt, Chrom, Kupfer, Uran, Mangan, Nickel, Eisen oder auch von Edelmetallen, die mit einem Gemisch von 75 Masseteilen Glyzerin und 25 Masseteilen Spiritus oder mit Zuckersirup versetzt und zur Erzielung zarter, weicher Farbtönungen herangezogen werden. Ein nachfolgendes Verglühen vor dem Glasurauftrag ist zweckmäßig.

Allgemein ist bei der Verwendung von Farbkörpern und Farbstoffen u. a. zu beachten:

- Es ist notwendig, die Farben unter Zusatz von Kaolin, Ton, evtl. Kreide u. a. sehr fein zu vermahlen, um die Bildung von Silicaten, Aluminaten u. a. zu begünstigen bzw. bereits vorliegende zu stabilisieren, so daß ein Verlaufen der Farben verhindert wird.
- Die Farbe muß vor dem Aufmalen mit Glyzerin u. a. auf eine geeignete Geschmeidigkeit gebracht werden, um ein starkes Aufsaugen durch den porösen Scherben zu verhindern. Zu dick aufgetragene Farben und solche mit zu wenig Fluß sehen glanzlos aus.
- Die Viskosität und die Art der Glasur haben wesentlichen Einfluß auf die Farbtönung. So hat z. B. Kupferoxid unter alkalischer Glasur eine blaue, unter Bleiglasur eine grüne Farbe.

Urandioxid (UO_2)

1) Mineral

Kristallographie: Uraninit kubisch, meist jedoch durch radioaktive Einwirkungen isotropisiert; es werden 2 Varietäten unterschieden: der hochtemperiert entstandene würfelige Uraninit und die kollomorphe Uranpechblende. Infolge der Isotropisierung sind die Primäreigenschaften oft stark verwischt.

Physikalische Eigenschaften: $H = 6$; $D = 10{,}6\ g\ cm^{-3}$

U. bildet sich unter den verschiedensten Bedingungen:

- pegmatitisch; in Granit- und Syenitpegmatiten, fast immer mit Th und Ce angereichert,
- hydrothermal; meist als Th-arme Pechblende,
- sedimentär; wegen der leichten Löslichkeit einiger Oxydationsstufen Transport in die Sedimente (z. B. Uranschwärze).

2) Rohstoff zur Herstellung von Kernbrennstoff

Das von Isotopenanreicherungsanlagen bereitgestellte U. ist auf 2 bis 4 % U^{235} angereichert; es zeichnet sich durch hohen Schmelzpunkt (2 850 °C), gute Verträglichkeit mit dem Hüllenrohrmaterial und Kühlmittel aus und macht keine Phasenumwandlungen durch.

Die preßfähigen Pulver werden durch chemische Konversion gewonnen; nach *Schatt* werden diese Verfahren klassifiziert in

- naßchemische Verfahren; bei denen entweder UF_6 (Uranhexafluorid) oder Uranylnitrat ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ausgefällt und nachfolgend calciniert werden,
- trockenchemische Verfahren; hierbei wird UF_6 direkt in der Gasphase zu UO_2 umgewandelt.

Die bekannten naßchemischen Verfahren sind das ADU-Verfahren (benannt nach dem Zwischenprodukt Ammoniumdiuranat) und das AUC-Verfahren (Zwischenprodukt Ammoniumuranylcarbonat).

Das bekannteste trockenchemische Verfahren ist

Eigenschaften der Pulver nach verschiedenen Verfahren nach *Henke* und *Klemm*

	ADU	AUC	IDR
spezifische Oberfläche in $m^2 g^{-1}$	2,5...6,0	3,6...6,0	2,1...3,0
Schüttdichte in $g cm^{-3}$	1,5...2,0	2,0...2,3	0,7...1,0
Klopfdichte in $g cm^{-3}$	2,4...2,8	2,6...3,0	1,5...1,9
mittlere Teilchengröße in µm	0,4...1,0	<6	<2,5
O/U-Verhältnis	2,03...2,17	2,06...2,16	2,05...2,12
Feuchte in Masse-%	0,1...0,5	0,1...0,2	0,1...0,17

der IDR-Prozeß (Integrated-Dry-Route-Prozeß); s. Tabelle.

3) Rohstoff für farbige Glasuren

Durch die Uranverbindungen UO_2 (Eigenfarbe braunschwarz), Urantrioxid UO_3 (orange), Natriumdiuranat $Na_2U_2O_7 \cdot 6 H_2O$ (gelb) und Uranylnitrat $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6 H_2O$ (gelbgrün) lassen sich gelbe, schwarze, grüne, orangegelbe und rote Färbungen erreichen.

V

Vakuum (lat.: vacare = leer sein) – *thermodynamischer Zustand in einem gas- und/oder dampferfüllten Raum bei Drücken unterhalb des Atmosphärendruckes.*

Der Druckbereich V. erstreckt sich von fast 10^5 Pa bis weniger 10^{-10} Pa und kann in dieser Breite weder mit einem einzigen Druckmeßgerät meßtechnisch erfaßt noch mit einer einzigen Pumpenart erzeugt werden. Dazu kommt, daß in den unterschiedlichen Druckbereichen verschiedene Gesetzmäßigkeiten für die Strömung eines Gases, für den Transport von Energie (Wärmeleitung) oder den Impulstransport (innere Reibung) gelten. Entsprechend den verschiedenen Besonderheiten ist es üblich, die Druckbereiche – nicht ganz willkürfrei – einzuteilen in:

- Grobvakuum (GV) $10^5 \text{ Pa} > p \geqq 10^2 \text{ Pa}$
- Feinvakuum (FV) $10^2 \text{ Pa} > p \geqq 10^{-1} \text{ Pa}$
- Hochvakuum (HV) $10^{-1} \text{ Pa} > p \geqq 10^{-5} \text{ Pa}$
- Ultrahochvakuum (UHV) $10^{-5} \text{ Pa} > p$.

Vakuumbeschichtungsanlage – *Vorrichtung zum Aufdampfen (Beschichten*) dünner Schichten* auf Substrate* in der Mikroelektronik*, zum Aufbringen von Elektroden auf keramische Kondensatoren*, Sensoren* u. a. sowie dünner dekorativer Schichten auf feinkeramische Erzeugnisse.*

Eine V. besteht im Prinzip (s. Bild S. 498) aus

- dem Arbeitsraum/Rezipienten mit Verdampfungsquelle, Masken* und Substrathalter (Karussell),
- dem Vakuumpumpenteil mit Vorvakuumpumpen (meist Drehschieberpumpen*, Rootspumpen u. a.) und Hochvakuumpumpen (meist Diffusionspumpen*),
- den Vakuummeßgeräten und
- dem Belüftungsventil zum dosierten Einlaß von (trockener) Atmosphäre.

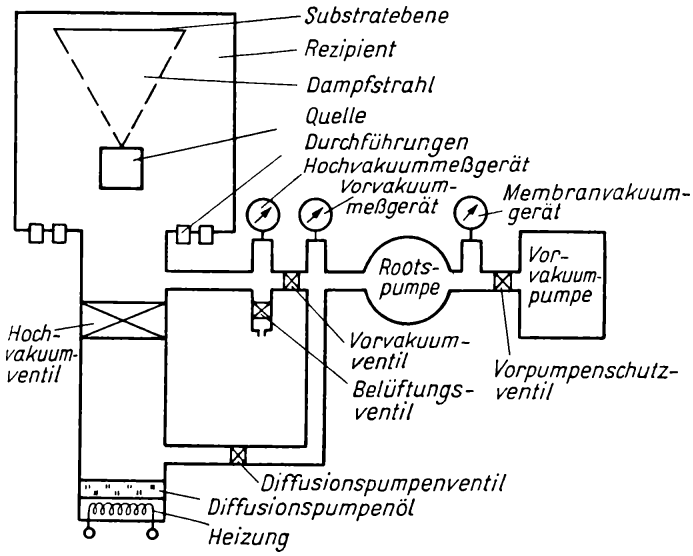
[469]

s. Sputtern

Vakuumerzeugung – *Evakuierung von Rezipienten (Arbeitsräumen) mit Hilfe sog. Vakuumpumpen.*

Vakuumpumpen werden entsprechend ihrer Arbeitsweise eingeteilt in:

- *Transport- oder Förderpumpen*
  Sie evakuieren einen Rezipienten, indem sie das Gas von einer Stelle niederen zu einer Stelle höheren Druckes transportieren; hierzu zählen:
  - Verdrängerpumpen, z. B. Drehschieberpumpen* (Arbeitsbereich von 10^5 bis 10^{-2} Pa),
  - Treibmittelpumpen, z. B. Diffusionspumpen* (Arbeitsbereich von 10^{-1} bis 10^{-9} Pa),
  - Molekularpumpen (Arbeitsbereich von 10^{-1} bis 10^{-8} Pa),
  - Ionenpumpen (Arbeitsbereich von 10^{-1} bis 10^{-10} Pa).
- *Speicherpumpen*
  Sie entfernen das Gas aus dem Rezipienten, in-



Aufbau einer Vakuumbeschichtungsanlage

dem sie es an Festkörperoberflächen binden oder in Oberflächenschichten einbauen; hierzu gehören:

- Getter (Arbeitsbereich von 10^0 bis 10^{-8} Pa),
- Sublimationspumpen (Arbeitsbereich von 10 bis 10^{-9} Pa),
- Kryo- oder Gefrierpumpen (Arbeitsbereich von 10^0 bis 10^{-10} Pa).

Details siehe Spezialliteratur, z. B. [446].

Vakuummessung – *Erfassen eines Druckbereichs von etwa 10^5 Pa bis weniger als 10^{-11} Pa.*

Die Druckmeßgeräte arbeiten nach verschiedenen physikalischen Grundprinzipien, nach denen sie eingeteilt werden in:

- *Mechanische Manometer;* sie erfassen Drücke von 10^5 bis etwa 10^{-4} Pa, dazu zählen das Bourdon-Rohr, Membranmanometer, Flüssigkeitsmanometer, Modulationsmanometer,
- *Wärmeleitungsmanometer;* sie erfassen Drücke von 10^5 bis etwa 10^{-2} Pa,
- *Reibungsmanometer;* sie erfassen Drücke von 10^5 bis etwa 10^{-4} Pa,
- *Radiometermanometer* für Drücke von 10^{-1} bis etwa 10^{-6} Pa,
- *Ionisationsmanometer* für Drücke von 10^{-2} bis 10^{-11} Pa.

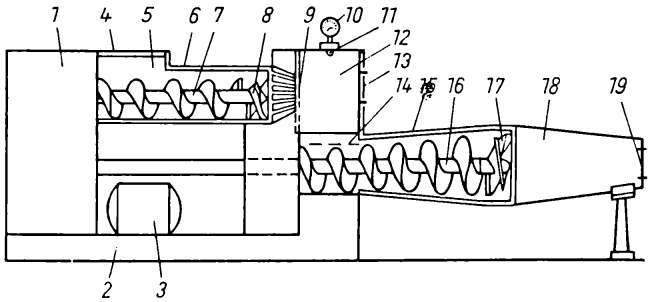
Details siehe Spezialliteratur, z. B. [446].

Vakuumstrangpresse – *kontinuierlich arbeitendes Aggregat zur Homogenisierung, Entlüftung, Strangformung fein- und grobkeramischer Massen.*

Eine V. stellt im Prinzip eine Kombination von Doppelwellenmischer*, Schneckenpresse* und Vakuumanlage dar. Es werden bildsame Massen mit einem Feuchtegehalt von etwa 16 bis 23 % verarbeitet; es können aber auch künstlich bildsam gemachte Massen (Al_2O_3, Ferrite u. a.) aufgegeben werden, sofern ihre Konsistenz der einer bildsamen Masse entspricht.

Das Bild zeigt den Aufbau einer V. An voneinander abzugrenzenden Baueinheiten kann man unterscheiden: Antriebsteil (*1*; *3*), Zuführteil (*4*; *5*), Aufgabeschnecke *(7)*, Vakuumeinheit (*10*; *12*) und Austragsschnecke – Preßkopf – Mundstückeinheit (*16*, *18*, *19*).

Die Masse gelangt in Form von Filterkuchenstükken oder Batzen in den Aufgabetrichter *(4)* und wird mittels einer Einräumerwalze *(5)* der Aufgabeschnecke *(7)* zugeführt. Diese verdichtet das zunächst noch lockere Material und fördert es durch eine Schlitzplatte/Siebkorb *(9)* in die Vakuumkammer. In der Vakuumkammer herrscht ein Vakuum von 90 bis 96 %, das durch eine Flüssigkeits- oder Rootspumpe erzeugt wird. Es ist unzweckmäßig, ein höheres Vakuum anzulegen, da der Siededruck des Wassers bei Raumtemperatur 2,7 kPa beträgt; die Masse würde austrocknen. Ein geringeres Vakuum ist ebenfalls ungünstig; es würde die Texturanfälligkeit steigern (in der Masse eingeschlossene Luft wirkt wie ein Magerungsmittel). Die entlüfteten Massenudeln werden von



Vakuumschneckenpresse
1 Getriebekasten
2 Gestell
3 Motor
4 Aufgabetrichter
5 Einräumerwalze
6 Gehäuse für Aufgabeschnecke
7 Aufgabeschnecke
8 Kleeblattmesser
9 Schlitzplatte
10 Manometer
11 Lampe
12 Vakuumkammer
13 Schauglas
14 Einräumer
15 Gehäuse für Austragsschnecke
16 Preß- oder Austragsschnecke
17 End- oder Kleeblattmesser
18 Preßkopf
19 Mundstück

einem Einräumer *(14)* erfaßt und der mit entgegengesetztem Drehsinn laufenden Austragsschnecke *(16)* zugeführt. Letztere preßt dann die Masse aus dem Preßzylinder *(15)* durch Preßkopf *(18)* und Mundstück *(19)*.

Damit die Masse nicht an den Schnecken haften bleibt und mitrotiert, sind die Innenflächen der Preßzylinder durch facettenartige Vertiefungen angerauht. Trotzdem läßt sich eine Schleppwirkung der Schnecke parallel zu den Flanken nicht ganz vermeiden. Hinsichtlich der Mundstücksgestaltung gelten besondere masse- und produktionsspezifische Anforderungen. Als Faustregel gilt, daß die freie Austrittsfläche des Mundstückes zwei- bis dreimal kleiner als der Preßzylinderquerschnitt sein soll. Außerdem soll das Mundstück um so länger sein, je unbildsamer die zu verarbeitende Masse ist. Nach *Pels-Leusden* ergibt sich als maximaler theoretischer Durchsatz einer V., ohne Berücksichtigung von Schleppwirkung der Schnecke, Leckfluß und Flankenstärke,

$$\dot{V}_{max} = \frac{\pi^2 D_S^3}{4} (1 - d^2/D_S^2) \sin\beta \cos\beta \, n$$

$\dot{V}_{max}$ max. Durchsatz in $cm^3 s^{-1}$
d Nabendurchmesser der Schnecke in cm
D_S Schneckendurchmesser in cm
β Schneckensteigungswinkel in °
n Drehzahl der Schnecke in s^{-1}.

In der Praxis werden jedoch nur 20 bis 50 % des theoretischen Durchsatzes erreicht.

Eine V. ist ausgezeichnet durch:
- hohe Massedurchsätze,
- einen Strangdurchmesser, der bis zu 800 mm für liegende Pressen betragen kann,
- weitgehende Masseentlüftung und Verdichtung,
- während des Arbeitsganges verbessert sich die Bildsamkeit, und die Texturanfälligkeit wird vermindert (feinkeramische Massen werden üblicherweise zweimal durch die V. gegeben),
- durch Vorsetzen geeigneter Mundstücke können die verschiedensten Profile gezogen werden.

Die V. zählt zu den wichtigsten Aufbereitungsaggregaten der Keramik. [14, 39, 125, 157]

s. Vorsatzplatte

Vakuumtrocknung – *s.* Gefriertrocknung

Vanadiumoxide

1) Vanadiumpentoxid (V_2O_5) – gelbes, giftiges Pulver; $D = 3{,}35\ g\,cm^{-3}$; $T_S = 685\ °C$

2) Vanadiumdioxid (V_2O_4) – dunkelgrün; $D = 4{,}34\ g\,cm^{-3}$; $T_S = 1\,640\ °C$

V. kommen im Heizöl vor und bilden sich beim Brand toniger Massen, wenn im Tonmineralgitter Vanadium mit eingebaut war. Sie verursachen oft farbige Ausblühungen (z.B. bei Ofenkacheln unter der Glasur durch die Behautmasse hindurch). V_2O_5 wirkt als starkes Flußmittel bei Schamottesteinen, und infolge seiner sehr geringen Oberflächenspannung und seines sehr niedrigen Dampfdruckes kriecht es an den Ofenwänden entlang

und dringt in poröse Baustoffe ein; hier bildet es besonders in Verbindung mit Na_2SO_4 sehr harte Krusten. V. werden zur Herstellung lindgrüner und türkisfarbener Farbkörper sowie als Zusatz zu Varistor-Pasten in der Dickschichttechnik herangezogen. Arbeiten mit V. müssen unter einem Abzug ausgeführt werden (Atemgift).

***Van-der-Waals*-Kräfte** – *schwache Anziehungskräfte zwischen valenzmäßig abgesättigten Molekülen.* Sie sind bei hinreichender Nähe der Moleküle stets vorhanden, sie verringern sich jedoch mit der 6. Potenz des Abstandes der Moleküle und haben beim Abstand der Moleküle von 1 µm praktisch den Wert Null.

Varistoren (lat.: varius = verschiedenartig) – *spannungsabhängige Widerstände mit nichtlinearer I-U-Charakteristik,* deren Widerstand stark reduziert wird und deren Strom merklich wächst, wenn ein kritischer Spannungswert überschritten wird. Das Maß der Nichtlinearität eines V. zwischen zwei vorgegebenen Arbeitspunkten I_1 und I_2 ist definiert durch

$$I = k\,U^{\alpha}$$

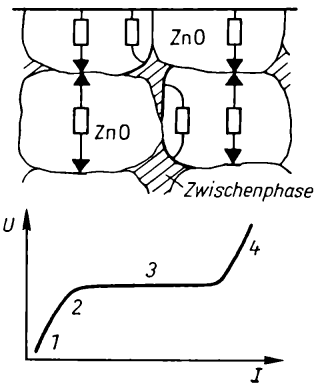
k Bauelementekonstante,
α Nichtlinearitätsexponent.

Bei der Bedingung $I_1 = 0{,}1\,I_2$ gilt:

$$\alpha = 1/(\log U(I_2) - \log U(I_1)).$$

Die Werkstoffbasis der ersten Generation von V. ist SiC, dessen Nichtlinearität auf dem Kontaktwiderstand der SiC-Körper beruht. Die Korngröße des SiC, die tonigen Bindemittel und die Sinterhilfsmittel MgO und CaO sowie die Verunreinigungen durch Aluminium bestimmen entscheidend den spezifischen Widerstand. SiC-V. überstreichen einen weiten Einsatzbereich von 1 bis etwa 10 kV; sie werden heute jedoch weitgehend abgelöst von der sog. 2. Generation auf der Basis von ZnO, das eine wesentlich stärkere nichtlineare Kennlinie aufweist. ZnO-V. stellen eine mehrphasige Keramik dar, die außer dem Hauptbestandteil ZnO noch Additivoxide (z. B. Bi_2O_3, CaO, MnO_2, Cr_2O_3, Sb_2O_3, SiO_2, TiO_2 u. a.) enthält. Reines ZnO ist ein *n*-Halbleiter mit einem breiten Bandabstand zwischen Valenz- und Leitungsband von 3,2 eV und weist einen geschätzten Widerstand von $10^{23}\,\Omega$ cm auf. Stöchiometrieabweichungen im ppm-Bereich bedingen eine starke Erniedrigung des Widerstandes im Bereich 10^{-3} bis $10^{13}\,\Omega$ cm.

In ZnO-V. werden durch intergranulare Phasen aus Bi_2O_3 an den Randzonen der Körner Potentialbarrieren gebildet. Beim Anlegen einer Spannung können jedoch die Elektronen den Potentialwall leicht durchtunneln. Das Gesamtverhalten ergibt sich dann aus der Summe der Eigenschaften der hintereinander und parallel geschalteten Mikrovaristoren (s. Bild).



Schematische Darstellung der Funktionsweise eines ZnO-Varistors
1 *ohm*scher Bereich: $\alpha = 1$
2 Vordurchbruchbereich: $\alpha = 2$ bis 3
3 Durchbruchbereich: $\alpha = 20$ bis 70
4 Upturnbereich: $\alpha \rightarrow 1$

Bei gleicher Probendicke ist die Durchbruchspannung eine Funktion der Korngröße, d. h., das Gefüge* bestimmt Nichtlinearität und Stabilität der *U-I*-Charakteristik.

Nach *Einzinger* und *Inada* laufen während der Sinterung und langsamen Abkühlung folgende Reaktionen ab:

$$3\,Zn_7Sb_2O_{12} + 3\,Bi_2O_3 \xrightarrow{960\text{ bis }880\,^{\circ}C} 2\,Zn_2Bi_3Sb_3O_{14} + 17\,ZnO.$$

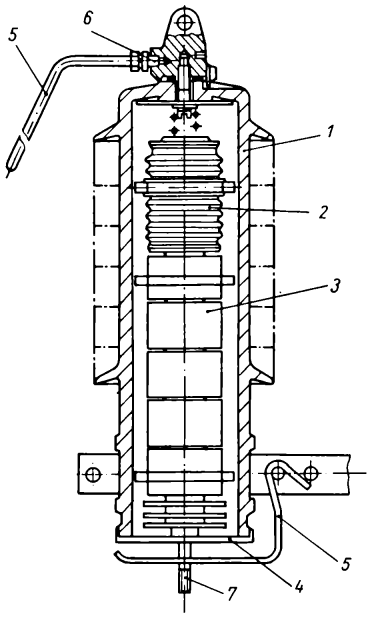
Danach kristallisiert ZnO aus der Flüssigphase aus, die aus Bi-Oxid und darin gelöstem Spinell besteht. Dabei bilden sich ZnO-ZnO-Homoübergänge und intergranulare Schichten, die als elektrische Parallelschlüsse den unerwünschten Leckstrom (Sauerstoffionenleitung) bestimmen. [371, 524, 525]

Vase (lat.: vas = Gefäß) – *ursprünglich ein Gebrauchsgefäß und auch als Weih- und Grabbeigabe verwendet, heute ein beliebter Ziergegenstand.* V. wurden bereits im 2. Jh. v. d. Z. auf der Töpferscheibe

gedreht und mit einer schwarzen Glasurfarbe bemalt. Heute werden Porzellanvasen in der Regel im Gießprozeß hergestellt.

Ventilableiter – *Überspannungsableiter, der kurzzeitige Überspannungen aufgrund einer nichtlinearen Strom-Spannungs-Kennlinie begrenzt.* Er baut an seinen Klemmen die Überspannungen auf eine definierte Restspannung ab und begrenzt die Amplitude und die Dauer des Folgestromes.

V. bestehen im allgemeinen aus einer Reihenschaltung von spannungsabhängigen Arbeitswiderständen (Varistoren*) und Reihenfunkenstrecken, die in einem armierten Porzellankörper untergebracht sind (s. Bild). Die Reihenfunkenstrecken



Schnitt eines 10-kA-Mittelspannungsableiters
1 Porzellangehäuse; *2* Funkenstrecken; *3* Ableitwiderstand; *4* Bördelkappe als Überdruckschutz; *5* Lichtbogen-Leiteinrichtung; *6* Spannungsanschluß; *7* Erdungsanschluß

bestehen aus mehreren Elektroden, die in einem bestimmten Abstand parallel angeordnet sind. Aus dem Elektrodenabstand ergibt sich eine bestimmte Überschlagsspannung für die Funkenstrecke. Diese wird entsprechend dem Einsatz des V. dimensioniert.

Übersteigt die anliegende Spannung die Ansprechspannung der Reihenfunkenstrecke, so erfolgt das Durchzünden der Funkenstrecke und die Ableitung der Überspannung gegen Erde. Durch die nichtlineare Strom-Spannungscharakteristik der Arbeitswiderstände wird der nach dem Ableitstrom fließende Folgestrom (hervorgerufen durch die Betriebsspannung) so stark begrenzt, daß dieser spätestens beim nächsten Netzspannungsnulldurchgang von der Funkenstrecke gelöscht werden kann. Zur Erzielung einer bestimmten Ansprechcharakteristik wird bei einer Anzahl von V. eine kapazitiv ohmsche Steuerung der Funkenstrecken eingesetzt. [522, 523]

Verbandstein – standardisierter Rechteckstein mit anderthalbfacher Normalsteinbreite.

Verbindung, intermetallische (intermediäre Phasen; lat.: inter = zwischen, medius = in der Mitte liegend) – *eine sich in grundlegenden Eigenschaften von chemischen Bindungen unterscheidende Kristallbindung, die vorwiegend durch Gittereigenschaften bedingt ist.* I. V. sind i. allg. nicht stöchiometrisch. Nach *Stillwell* gelten folgende Bedingungen für das Auftreten von i. V.:

- Großer, jedoch nicht extremer Unterschied in den Atomradien der Bildungselemente, so daß eine Koordinationszahl von 8 und höher möglich wird.
- Verschiedene Wertigkeit der Elemente; je elektronegativer A gegen B ist, um so eher ist eine Verbindung zu erwarten.
- Es existieren mäßige Anziehungskräfte.
- Verschiedene Kristallstrukturen der Bildungselemente liegen vor, z. B. Mg_2Pb, $FeSn_2$, $Al_{12}Mg_{17}$, Fe_7W_6 u. a.

Unter den physikalischen Eigenschaften ist v. a. ihre Sprödigkeit auffallend, die vielen technischen Anwendungen entgegensteht, so kristallisiert z. B. reines Blei kubisch-flächenzentriert, Magnesium hexagonal; bei der i. V. Mg_2Pb liegt in einem kubisch-flächenzentrierten Bleigitter ein kubisch einfaches Magnesiumgitter eingebettet vor. Die eingebauten Mg-Atome weiten das flächenzentrierte Gitter auf, so daß plastische Deformation kaum möglich ist. Es sind jedoch Maßnahmen bekannt, bei einzelnen i. V. die Sprödigkeit etwas zu mildern.

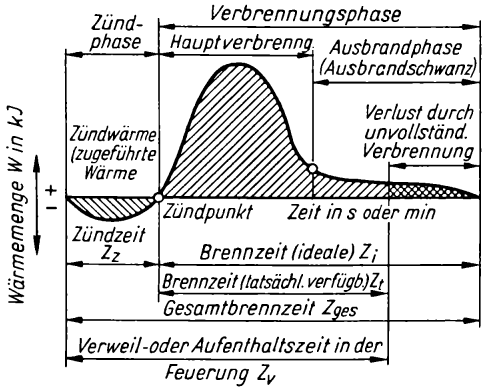
Die Vergütung technischer Legierungen beruht auf dem Ausscheiden i. V.

Der elektrische Widerstand i. V. liegt i. allg. in der gleichen Größenordnung wie der der reinen Metalle. Von besonderem Interesse sind jedoch die

Halbleitereigenschaften der III/V-Verbindungen, wie GaAs, InSb.
In magnetischer Hinsicht ist bemerkenswert, daß bei nichtferromagnetischen Komponenten Ferromagnetismus auftritt, z.B. $ZrZn_2$, $SmAl_2$ u.a. [192, 198]

Verblender – *frostbeständige Deckziegel an den Außenseiten von Backsteinbauten.* Die einfachste Art ist der *Vorderziegel*, der wie ein gewöhnlicher Ziegel verarbeitet wird. Dazu kommen die *Profilziegel* (als Voll- und Hohlziegel) sowie plattenähnliche Verblendziegel, die an der Wand befestigt werden und deren Vorderseite mit Glasur oder Engobe überzogen ist. Bei der Herstellung der V. werden besondere Anforderungen in bezug auf Aufbereitung, Formgebung, Gleichmäßigkeit der Brennfarbe und Texturfreiheit gestellt. Das Wasseraufnahmevermögen der V. liegt bei 2 bis 4%, die Druckfestigkeit bei 10 bis 25 MPa.

Verbrennung – *im engeren Sinne eine Reaktion von Stoffen mit Sauerstoff unter Wärme- und Lichtentwicklung;* sie verläuft in den Abschnitten: Zündphase – Hauptverbrennungsphase – Ausbrandphase (s. Bild).



Verbrennungsvorgang fester und flüssiger Brennstoffe

Nach Erreichen einer bestimmten Zündtemperatur läuft eine V. sehr rasch ab. Der erforderliche Sauerstoff wird entweder mit der Luft herangeführt oder liegt chemisch gebunden im Brennstoff vor. Der Verbrennungsprozeß spielt sich hauptsächlich in der Gasphase ab; flüssige Brennstoffe verdampfen vor der V. durch Hitzeeinwirkung der bereits brennenden Gase, feste Brennstoffe entgasen.

Luftsatte oder theoretische Verbrennung liegt vor, wenn die Verbrennungsgase keinen Sauerstoff und keine brennbaren Anteile mehr enthalten, d. h., die Luftverhältniszahl $\lambda = 1$ (λ tatsächlich benötigte Luftmenge/theoretische Luftmenge).
Luftüberschüssige Verbrennung bedeutet, die Abgase enthalten auch Sauerstoff. Der tatsächliche Luftbedarf bei Verbrennungen ist immer größer als der theoretische, d. h., $\lambda > 1$; außer man zielt auf bestimmte Atmosphären hin, dann ist aber die Verbrennung auch unvollkommen.
Unvollkommene Verbrennung liegt vor, wenn die Verbrennungsgase noch CO, H_2, CH_4 enthalten, was immer einen Verlust durch mangelnden Gasausbrand bedeutet. Unvollkommene Verbrennung wird beim Porzellanbrand absichtlich zur Reduktion des Eisenoxids erzeugt.
Im weiteren Sinne ist V. ein Oxydationsprozeß, der ohne Flammenbildung vor sich geht und als stille V. oder flammenlose V. bezeichnet wird. Letzteres wird z. B. in porösen feuerfesten Werkstoffen (sog. Infrarotstrahler), denen ein brennbares Gasgemisch zugeführt wird, genutzt. [526]
s. Sauerstoffanalysator

Verbrennungsdreiecke – *Graphiken, bei denen der Sauerstoff und das Verbrennungsprodukt CO_2 in bestimmter Anordnung eingetragen sind.* Wird durch Abgasanalyse der Gehalt dieser Gase im Rauchgas bestimmt, kann man mit Hilfe dieser Grafiken den Verbrennungsgrad ermitteln. In der keramischen Brenntechnologie werden angewendet:
- das V. nach *Bunte** mit $CO_2 + O_2$ auf der Abszisse und CO_2 auf der Ordinate und
- das V. nach *Ostwald* mit den Koordinaten CO_2 und O_2.

Verbrennungsgase (Rauchgase) – *bei Verbrennungen freiwerdende Abgase, die als Wärmeträger einen erheblichen Teil ihres Wärmeinhaltes an das Sintergut abgeben,* ggf. noch durch einen Wärmetauscher geführt und schließlich durch den Schornstein abgeführt werden.
Die Zusammensetzung und die Volumina der V. werden bestimmt durch die Art des Brennstoffes* und durch das Brennregime*. Außer CO_2 und dem nicht am Verbrennungsvorgang teilnehmenden Luftstickstoff können V. noch CO, SO_2, NO_x, Wasserdampf, Staub u. a. enthalten.
Die Volumina der V. werden für den praktischen Gebrauch meist mit Näherungsgleichungen be-

rechnet, die durchweg eine hinreichende Genauigkeit aufweisen. Die nachfolgend angeführte Tabelle nach *Puschmann* und *Draht* [419] führt den

feste Brennstoffe	L_{min} = (0,24 H_u + 0,5) m³/kg Br.
(H_u > 21 MJ/kg Br.)	$V_{g\,min}$ = (0,22 H_u + 1,5) m³/kg Br.
feste Brennstoffe	L_{min} = (0,26 H_u) m³/kg Br.
(H_u < 21 MJ/kg Br.)	$V_{g\,min}$ = (0,26 H_u + 0,4) m³/kg Br.
Öle	L_{min} = (0,2 H_u + 2) m³/kg Br.
	$V_{g\,min}$ = (0,26 H_u) m³/kg Br.
Armgase	L_{min} = (0,21 H_u) m³/m³ Br.
	$V_{g\,min}$ = (0,17 H_u + 1,0) m³/m³ Br.
Reichgase	L_{min} = (0,26 H_u − 0,25) m³/m³ B-
	$V_{g\,min}$ = (0,27 H_u + 0,25) m³/m³ B-

H_u Zahlenwert des Heizwertes (in MJ/kg Br. bzw. MJ/m³ Br.)
Volumenwerte auf Normzustand V_n bezogen.

Mindestluftbedarf L_{min} und das Mindestabgasvolumen $V_{g\,min}$ an. Für die Berechnung der tatsächlichen Rauchgasmenge muß noch die Luftverhältniszahl* λ berücksichtigt werden, es gilt dann

$$V_{g\,tats.} = V_{g\,min} + (\lambda - 1)\, L_{min}. \qquad [526]$$

s. Orsatapparat, Sauerstoff-Analysator, Sensoren, keramische, Kalorimeter

Verbrennungstemperatur, theoretische – *Temperatur der Verbrennungsgase, wenn die Verbrennung wärmedicht (adiabatisch) durchgeführt* wird. Sie hängt vom unteren Heizwert[1]) H_u, vom Luftfaktor und der Vorwärmung von Brennstoff und Verbrennungsluft ab. Bei CO-Verbrennung in Luft wurden 1 600 bis 1 800 °C (je nach %-Anteil des CO) und in reinem Sauerstoff etwa 2 880 °C beobachtet. Die th. V. wird in der Praxis nicht erreicht, da immer Wärmeverluste und oberhalb 1 500 °C Dissoziationen eintreten und trotz ausreichenden Sauerstoffgehalts der Anteil an Unverbranntem zunimmt.

Verbrennungswärme – *die bei einer Verbrennung freiwerdende Wärmeenergie,* technisch meist als *Heizwert* bezeichnet. Man unterscheidet:

a) Brennwert H_o (früher als oberer Heizwert bezeichnet) – die bei vollständiger Verbrennung freiwerdende Wärme bezogen auf 1 kg bei flüssigen und festen bzw. auf 1 m_N^3 bei gasförmigen Brennstoffen. Dabei müssen die Verbrennungsprodukte auf Ausgangstemperatur abgekühlt und Wasserdampf kondensiert sein.

1) Anstelle von Heizwert ist auch Brennwert üblich.

b) Heizwert H_u (früher als unterer Heizwert bezeichnet) – Verbrennung wie bei H_o, aber die im Wasserdampf der Abgase gebundene Verdampfungswärme wird nicht berücksichtigt (Heizwert allgemein H_u). In der Praxis kann auch H_u nicht voll genutzt werden, da man die Abgase nicht auf 20 °C abkühlen kann, ohne den Taupunkt zu unterschreiten.

V. wird in Kalorimetern bestimmt bzw. hinreichend genau aus chemischen Analysen der Brennstoffe mit geeigneten Formeln berechnet.

Eine Zusammenstellung über den theoretischen Sauerstoffbedarf, H_o und H_u der chemischen Elemente und Verbindungen, die in den im keramischen Brennbetrieb eingesetzten Brennstoffen enthalten sind, beinhaltet die Tabelle S. 504. [419]

s. Kalorimeter

Verbundwerkstoffe – *s.* Kompositwerkstoffe

Verdampfen – *Überführen einer Flüssigkeit, seltener eines Feststoffes (Sublimation) in den dampf- bzw. gasförmigen Zustand.* Um den aus einer Flüssigkeit austretenden Molekülen zur Überwindung der Kohäsionskräfte und des Außendruckes die notwendige kinetische Energie zu erteilen, muß Verdampfungswärme zugeführt werden. Durch Anlegen von Vakuum kann die Verdampfungswärme herabgesetzt werden. Metalle werden im Hochvakuum wegen der dort erheblich vergrößerten Weglänge verdampft.

Soll nur das Lösungsmittel einer Lösung verdampft werden, spricht man von Eindampfen oder Konzentrieren.

Verdünnungsöl – *leicht bis schwer flüchtige, magere bis fette Öle,* die den Keramfarben beim Aufmischen zugesetzt werden, damit diese leichter aus dem Pinsel oder dem Malgerät fließen bzw. gleichmäßiger zerstäubt aus der Spritzpistole auf die zu dekorierende Oberfläche gelangen.

Verflüssigung – *Aufschlämmen einer tonmineralhaltigen Masse mittels eines Rührwerkes zu einer gießfähigen Suspension (Gießschlicker).* Bei einer V. nur mit Wasser würden beträchtliche Wassermengen benötigt (50 % und mehr). Durch Zugabe von Peptisatoren kann man die Viskosität einer Tonsuspension in weiten Grenzen verändern, wobei sich der Wassergehalt je nach der Natur des Tones auf 15 bis 35 % herabdrücken läßt. Die Verringerung der Viskosität wird als eigentliche Verflüssigung verstanden. Der Vorgang der V. läßt sich auf die Stärke des elektrischen Potentials im Ionen-

Sauerstoffbedarf, Brennwert und Heizwert (nach *Puschmann* und *Draht*)

Brennstoff	Theoretischer Sauerstoffbedarf O_{min} in kg/kg Br.	in m^3/kg Br.	in m^3/m^3 Br.	Endprodukt	Brennwert H_o in MJ/kg Br.	in MJ/m^3 Br.	Heizwert H_u in MJ/kg Br.	in MJ/m^3 Br.[1])
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kohlenstoff C	2,67	1,87	–	CO_2	33,9	–	33,9	–
Kohlenstoff C	1,33	0,93	–	CO	10,3	–	10,3	–
Wasserstoff H_2	8	5,6	0,5	H_2O	142,2	12,8	119,7	10,8
Schwefel S	1	0,7	–	SO_2	9,25	–	9,25	–
Kohlenmonoxid CO	0,57	0,4	0,5	CO_2	10,1	12,6	10,1	12,6
Methan CH_4	4	2,8	2	$CO_2 + 2\,H_2O$	55,4	39,9	50,0	36,1
Ethylen C_2H_4	3,43	2,4	3	$2\,CO_2 + 2\,H_2O$	51,7	64,0	47,3	59,9
Acetylen C_2H_2	3,08	2,15	2,5	$2\,CO_2 + H_2O$	50,2	59,0	49,0	56,9
Kohlenwasserstoffe C_mH_n	$\frac{(m+n/4)32}{12m+n}$	$\frac{(m+n/4)22{,}4}{12m+n}$		$m + n/4\ mCO_2 + (n/2)H_2O$				

1) Der theoretische Luftbedarf L_{min} in kg/kg Br. ergibt sich, wenn man die Werte der Spalte 2 durch 0,231, und in m^3/kg Br. bzw. m^3/m^3 Br., wenn man die Werte der Spalte 3 bzw. 4 durch 0,21 teilt. Alle Volumenwerte sind auf Normzustand V_n bezogen.

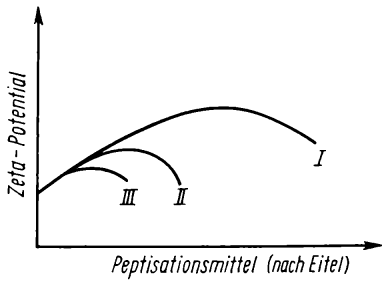
schwarm der Mizellen zurückführen. Nach *Helmholtz, Gouy* und *Freundlich* kann die Doppelschicht, die sich in Suspensionen um die Tonteilchen bildet, als Kugelkondensator aufgefaßt werden, der aus zwei konzentrischen Schalen besteht. Zwischen den Schalen herrscht das Potential:

$$\zeta = \frac{n\,e\,\delta}{\varepsilon\,r\,(r+\delta)}$$

e elektrische Elementarladung
n Zahl der freien Valenzen auf der inneren Schale oder der ihnen äquivalenten Ionen auf der äußeren Schale
ε Dielektrizitätskonstante
r Radius der inneren Schale
δ Abstand der äußeren von der inneren Schale.

Die gemessenen Potentiale bewegen sich in der Größenordnung 16 bis 100 mV. Setzt man der Suspension ein Peptisationsmittel zu, so steigt die Zahl der Ladungen n in der Doppelschicht, und gleichzeitig nimmt die dem Schalenabstand proportionale Dicke der Wasserhülle zu, während die Dielektrizitätskonstante abnimmt. Durch diese Veränderungen werden gleichzeitig das ζ-(Zeta-) Potential und die Stabilität der Suspension erhöht, da die auf die angelagerten Ionen wirkenden Anziehungskräfte und besonders die Abstoßungskräfte zwischen den negativ geladenen Mizellen größer werden. Auch die mittlere Weglänge der Mizellen ist dem Zeta-Potential* proportional. Eine Vergrößerung der freien Weglänge bedeutet aber Herabsetzung der Viskosität. Die verflüssigende Wirkung der Peptisatoren ist unterschiedlich. Allgemein gilt, daß sich Tone mit hohem Gehalt an alkalilöslichem Humus gut verflüssigen lassen. Begünstigt wird der Verflüssigungsvorgang auch durch Schutzkolloide (z. B. wirken als Schutzkolloid: Kaßler Braun, Quebracho u. a.). Tone mit großer spezifischer Oberfläche benötigen höhere Zusätze an Peptisationsmitteln als gröbere.

Im Bild ist das Zeta-Potential als Funktion des Verflüssigungsmittels für ein-, zwei- und dreiwertige Kationen aufgetragen. Danach sind einwertige Kationen besonders geeignet, zweiwertige bedeutend weniger und dreiwertige überhaupt nicht. Von den einwertigen Kationen wirken besonders die Na-Salze von Polysäuren anorganischer und organischer Natur, deren Anionen schwerlösliche



Zeta-Potential in Abhängigkeit des Anteils von Verflüssigungsmitteln (nach *Eitel*)
I einwertige Ionen
II zweiwertige Ionen
III dreiwertige Ionen

Verbindungen eingehen können (-silicate, -phosphate), weniger gut wirkt reine Natronlauge. Ähnliches Verhalten zeigen auch die Lithiumverbindungen. Weniger günstig beeinflussen K-Ionen die V., da sie zur Bildung einer stabilen KO_{12}-Koordination fähig sind. Den Einfluß ein- und zweiwertiger Kationen deuten *Hofmann* und Mitarbeiter so, daß bei Verwendung von Na-Salzen jeder negativen Oberflächenladung des Kaolinits (Tonminerale) ein positives Na-Ion gegenübersteht, so daß die Oberfläche gut abgeschirmt wird. Dagegen liegen beim Ca-Kaolinit die zweiwertigen Ca-Ionen jeweils zwischen zwei negativen Ladungen. Dieser Umstand bedingt, daß zwischen den nächsten beiden negativen Ladungen ein freier Platz entsteht und ein negatives Potential relativ weit in die Umgebung hinausragt. Dann wird aber möglich, daß an solchen Stellen benachbarte Teilchen einrasten, was zu einer Versteifung führt. Überschreitet die Alkalikonzentration einen bestimmten Schwellwert, so erreicht man das Gegenteil, die Tonkristalle koagulieren und sinken zu Boden. Die Gründe für dieses Verhalten sind darin zu suchen, daß die Kationen in die Doppelschicht eindringen und die negativen Ladungen der Tonkristalle kompensieren.

Verkieselung – *Polykondensation von gesättigten Kieselsäurelösungen bzw. Kieselsolen,* wobei sich zunächst amorphes SiO_2 bildet, das durch Alterung in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur und anderen Faktoren in den kristallinen Zustand übergeht. Auf dem Wege der V. haben sich Zementquarzite aus Sanden gebildet.

Vermiculit

$$\left\{\begin{array}{l} Mg_{2,36}Fe^{3+}_{0,48}Al_{0,10}\,[(OH)_2/Al_{1,28}Si_{2,72}O_{10}]^{0,64-} \\ Mg_{0,32}(H_2O)_4 \end{array}\right\}$$

– *hydratisierter eisenhaltiger Glimmer.*

Chemische Zusammensetzung: 14 bis 23 % MgO, 5 bis 17 % Fe_2O_3, 1 bis 3 % FeO, 37 bis 42 % SiO_2, 10 bis 13 % Al_2O_3, 8 bis 18 % H_2O; Si-Al-Diadochie* in den Tetraederschichten

Kristallographie: monoklin; Dreischichtmineral mit eingelagerter Kationenwasserschicht; Pseudomorphosen nach Biotit*

Physikalische Eigenschaften: braun-gelb-goldgelb bis grünlich; Fettglanz; $n_y = 1{,}58$; $H = 1$ bis 1,5; gut spaltbar nach (001); $D = 2{,}4$ bis 2,7 g cm^{-3}

Genese: hydrothermale Umwandlung von Biotit, durch Verwitterung dunkler, gesteinsbildender Minerale

Verwendung: Beim Glühen vergrößert sich das Volumen um das 18- bis 25fache ($D = 0{,}6$ bis 0,9 g cm^{-3}), daher gutes Wärmeisolationsvermögen; hohes Kationenaustauschvermögen (Ionenaustauscher), Konsistenzschmierstoff in der Stahlindustrie, für Hydrokulturen und Träger von Spezialdünger in der Landwirtschaft, als Adsorbent in der chemischen Industrie.

[8, 49]

Verputzen – *das Beseitigen von Unebenheiten an der Oberfläche des getrockneten Formlings mit Hilfe eines feuchten Schwammes, eines Messers u. a.* Dazu gehören das Entfernen überstehender Nähte, Verschneiden der Angüsse (Schnaupen), Abrunden der Ränder (Borde), Brechen scharfer Kanten, Entgraten von Preßlingen, Überschwammen der Oberfläche u. a. Diese Arbeiten werden heute z. T. schon maschinell ausgeführt.

s. Verputzmaschine.

Verputzfehler – *Körperrisse oder Dellen und Streifen* durch zu starken Druck beim Verputzen, rauhe Oberflächen durch nicht genügendes Verschwammen, Erweichen der Oberflächen durch zu nasses Verschwammen u. a.

Verputzmaschine – *mechanische Vorrichtung zum Beseitigen von Unebenheiten an den Rändern (Borden) von Flachgeschirr und Tassen.* Beim Verputzen von Flachgeschirr ist die Maschine zwischen Vortrocknung (lederhart) und Weißtrocknung geschaltet. Die Formlinge kommen auf ständig umlaufende Aufnahmen, werden am Bord durch verschieden gestellte Messer verputzt (unter Absaugung) und anschließend durch ein sich

selbst reinigendes Schwammband verschwammt (geglättet). (s. Bild)

Versatzberechnung – *s.* Masseversatzberechnung

Verschlackungsbeständigkeit – *Widerstand eines ff. Materials gegen allmähliches Auflösen durch chemische Korrosion (Schlacken, Einsatzgut der Öfen, Stäube, Dämpfe) und mechanische Erosion durch strömende Schmelzen und Gase.* Die Angriffe werden meist noch unterstützt durch Infiltrationen der Schmelze und Reaktionsprodukte. Die V. wird im wesentlichen beeinflußt von

- der chemisch-mineralischen Zusammensetzung des Materials,
- dem Gefüge des Materials,
- der chemischen Zusammensetzung der Schlacke (insbesondere dem Verhältnis $CaO : Al_2O_3$) bzw. der Zusammensetzung des Einsatzgutes,
- der Viskosität der Schmelze,
- der Einwirkungsdauer und -temperatur.

Wegen der vielfältigen Formen des Schlackenangriffs können keine allgemeinen Gesetzmäßigkeiten aufgestellt werden; es lassen sich lediglich folgende Feststellungen treffen:

- Je höher die Betriebstemperatur über der Schmelztemperatur der Schlacke liegt, um so leichtflüssiger wird sie und um so leichter dringt sie in das Mauerwerk ein. Dichte, bindemittelarme Materialien setzen dem Schlackenangriff einen höheren Widerstand entgegen als Materialien höherer Porosität.
- Tonerdearme Schlacken und Aschen lösen besonders »gierig« Tonerde aus dem ff. Material, dabei werden tonerdearme ff. Erzeugnisse stärker angegriffen als tonerdereiche.
- Eisenreiche Schlacken korrodieren tonerdereiches Material weniger als SiO_2-reiches. Umgekehrt wird SiO_2-reiches Material durch fließende Schlacke weniger erodiert als tonerdereiches.
- Gasförmige Agenzien (Alkalidämpfe, Eisencarbonyle u. a.) können rasch Zerstörungen verursachen, besonders wenn der Ofen unter Überdruck steht.
- Der Angriff der Agenzien wird wesentlich von der herrschenden Atmosphäre beeinflußt. So kann durch Versuch leicht bewiesen werden, daß gleiches Probenmaterial, das mit gleichen Agenzien dem gleichen Temperaturregime ausgesetzt, aber einmal oxydierend und einmal reduzierend belastet wird, deutlich verschiedene Korrosionsbilder zeigt.

Die V. wird technologisch nach folgenden genormten Verfahren geprüft:

1) Tiegelmethode

In den zu untersuchenden Stein wird ein Loch gebohrt, in das ein bestimmter Angriffsstoff gegeben wird. Der Stein wird dann 2 h bei Betriebstemperatur in einem Versuchsofen gehalten.

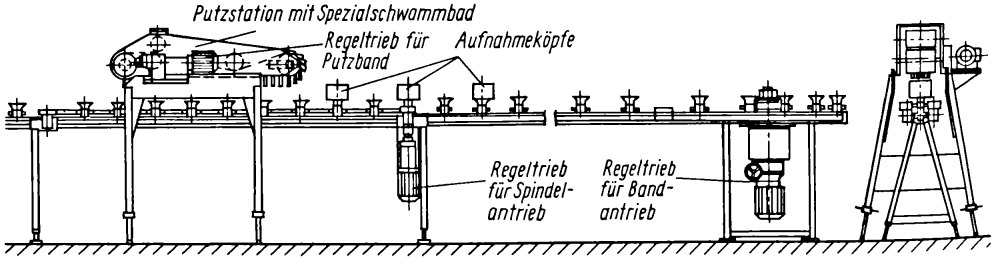
2) Aufstreumethode

Aus dem zu untersuchenden Stein wird ein Kern herausgebohrt, der in einem Versuchsofen auf Betriebstemperatur gebracht wird. Auf die Formhaut wird anschließend eine bestimmte Menge Angriffsstoff geblasen.

Verschleiß – *allmähliche Oberflächenveränderung fester Stoffe durch mechanische Loslösung kleiner Stoffteilchen.* Man unterscheidet:

- Strahl- oder abrasiver Verschleiß – durch Stoß, Schlag oder ähnliche Beanspruchungen werden Teilchen der Oberfläche direkt abgetrennt,
- Gleit- oder adhäsiver Verschleiß – das angreifende Material bildet erst eine Zwischenschicht auf der Oberfläche aus, die durch weiteren mechanischen Angriff abgeschert wird (s. Korrosion).

Die beim Verschleißvorgang im Mikrobereich ab-



Tassenputzanlage (System *Zeidler*)

laufenden physikalischen und tribochemischen Prozesse erschweren die Ableitung eindeutiger funktioneller Zusammenhänge zwischen V. und Werkstoffeigenschaften. So ist es bisher trotz vielfacher Versuche nicht gelungen, eine allgemeingültige Relation zwischen Verschleißfestigkeit und der einfach meßbaren Härte* oder anderen Werkstoffeigenschaften, wie mechanische Festigkeit, Bruchzähigkeit*, Dichte* oder Korngröße*, zu finden.

Für die Applikation von Oxidkeramik* ist der Gleitverschleiß von besonderer Bedeutung (Biokeramik*, Fadenführer, Drahtziehteile u. a.). Für reinen Gleitverschleiß konnten *Dawihl* und Mitarbeiter eine weitgehende Gültigkeit einer allgemeinen Verschleißgleichung bei trockener Beanspruchung nachweisen:

$$V = kNW/H$$

V Verschleißvolumen
N Normalkraft
W Verschleißweg
H Härte des weicheren Stoffes
k Konstante.

Für die Verschleißpaarung Al_2O_3-Keramik/Al_2O_3-Keramik besteht ein von der allgemeinen Verschleißgleichung abweichender Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das Verschleißvolumen.

Dies wird nach o. g. Autoren auf den mit zunehmender Gleitgeschwindigkeit ansteigenden Einfluß des Schlagverschleißes durch auftretende Resonanzschwingungen hervorgerufen. Bei schlagender bzw. gleitender Beanspruchung weist feinkörnige Al_2O_3-Keramik (mittlere Korngröße 3 µm) wesentlich bessere Verschleißeigenschaften als grobkristalline Al_2O_3-Keramik (mittlere Korngröße 20 µm) auf.

Allgemein hängt der V. von Keramik in starkem Maße vom Reibungszustand (Trockenreibung, Mischreibung, reine Flüssigkeitsreibung) der Verschleißpartner ab. Durch Einsatz von Schmiermitteln wird ein hydrodynamischer, verschleißloser Reibungszustand angestrebt. [123, 529]

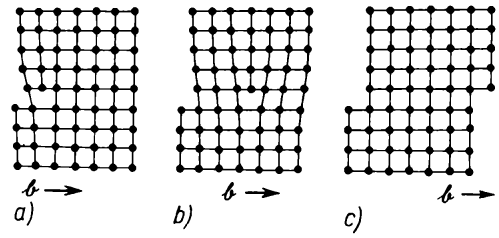
Verschmelzen – *das Verbinden keramischer Werkstücke mit Hilfe eines leichtschmelzenden Glases oder einer Glasur.* Diese Keramikverschmelzungen werden meist in Öfen ausgeführt. Dabei dürfen die beiden zu verschmelzenden Teile keinen größeren Unterschied in der Wärmedehnung haben. In ähnlicher Weise entstehen Metall-Keramik-Glas-Verschmelzungen. Die Wärmedehnung von Metall und Glas muß etwas geringer sein als die der Keramik. Einige bekannte Systeme sind z. B.:

- Wolframeinschmelzglas – Porzellan,
- Molybdän oder Fe-Ni-Co-Legierung – Molybdäneinschmelzglas – bariumhaltiges Steatit,
- Platin oder kupferplattierter Chromeisendraht – Geräteglas – normale Steatit- bzw. Rutilmassen.

Beim Verbinden von Gläsern mit keramischen Gegenständen nach Glasbläserart erweicht die Keramik trotz höherer Arbeitstemperaturen als bei Glas-Glas-Verschmelzungen nicht. Der Übergang Glas-Keramik hält ebenso hohe Temperaturen aus wie Glas, was bei Dichtungen und Kitten nicht der Fall ist. Man kann außer der Hitzebeständigkeit die elektrischen Eigenschaften (z. B. im Elektronenröhrenbau) der keramischen Werkstoffe ausnutzen.

Versetzungen – *strukturelle Fehlordnungen, die durch mechanische Beanspruchung eines Kristalls entstehen;* nach ihrer Form unterscheidet man Stufen- und Schraubenversetzungen.

Im Bild ist die Entstehung einer Stufenversetzung



Zur Entstehung und Wanderung einer Stufenversetzung

durch mechanisches Abgleiten des oberen Teilgitters dargestellt. Durch die Wirkung einer Schubspannung wandert die V. durch den Kristall und verläßt ihn wieder. Durch diese Wanderung entsteht auf der Oberfläche eine Elementarstufe, deren Höhe dem *Burgers*-Vektor* entspricht. Je nach der Zahl der gewanderten V. in einer Gleitebene kann sich eine Gleitstufe aufbauen, die dem Vielfachen einer Elementarzelle entspricht. Bei einer Schraubenversetzung verfehlt der Umlauf den Ausgangspunkt um einen Translationsbetrag (s. dazu Bild unter »Fehlordnungen, strukturelle«). V. können im Inneren eines geordneten Kristalls weder beginnen noch enden, sondern sie müssen in sich selbst zurückführen unter Bildung eines

Versetzungsringes, oder sie durchstoßen die Oberfläche unter Bildung einer Versetzungsschleife. [64]

Verwachsung, gesetzmäßige – *ein durch Realstruktur und Versuchsbedingungen beeinflußtes, orientiertes Verwachsen mehrerer Kristalle.* Natürliche und synthetische Kristalle sind selten Einzelkristalle, meist sind mehrere Individuen miteinander verwachsen. Man teilt ein:

1) G. V. von Kristallen gleicher Art

Sie treten auf in Form von *Parallelverwachsungen* (alle Kristalle sind parallel ausgerichtet, und alle Symmetrieelemente haben parallele Lage) und *Zwillingsverwachsungen* (die Stellung beider Individuen wird durch ein Symmetriegesetz bestimmt).

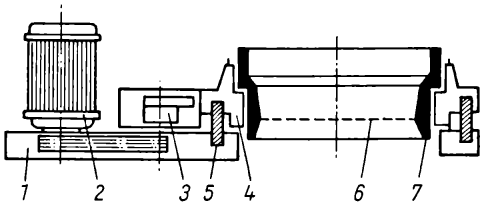
2) Verwachsungen von Kristallen verschiedener Art

s. Epitaxie

Verwitterung – die auf oder dicht unter der Erdoberfläche vor sich gehende Zerstörung von Gestein und Mineralien durch exogene Kräfte (Sonneneinstrahlung, Wasser, Frost, Organismen), wobei mechanische, chemische und biologische Faktoren ineinandergreifen.

Verzundern – *s.* Zunder

Vibrationssieb (Viskosieb) – *Rüttelsieb, das zur Korntrennung keramischer Medien, zum Sieben nasser und trockner Materialien (Massen, Gießmassen, Glasuren u. a.) verwendet wird* (s. Bild). Die einzelnen Konstruktionen unterscheiden sich durch waagerechte, schräge oder senkrechte Lage der Siebflächen sowie durch die Art, wie die rüttelnde, schwingende oder vibrierende Bewegung erzeugt wird. In der Feinkeramik werden Siebgewebe mit 0,15 bis 0,09 mm lichter Maschenweite eingesetzt. In Anwendung sind V. mit Vor- und Feinsieb, auch mit dreifachen Sieben. Es können sich auch Elektroeisenfilter oder Permanentmagnetfilter im Auslauftrichter des V. befinden.



Vibrationssieb (Viskosieb)

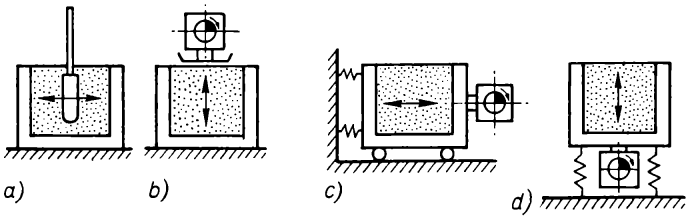
1 Maschinenrahmen
2 Antrieb
3 Unwucht
4 Schwingrahmen
5 Gummibolzen
6 Siebgewebe
7 Siebrahmen

Vibrationsverdichten (lat.: vibrare = zittern) – *Verdichten von pulvrigen Massen mit Hilfe oszillierend wirkender Kräfte.*

Von einem Schwingungserzeuger werden periodische Schwingungen erzeugt, durch Übertrager in die Masse eingeleitet und diese selbst in Schwingungen versetzt. Dabei werden die Fließbedingungen der Pulver verändert, ggf. auch die Viskosität vorhandener Bindemittel vermindert und eine weitgehende Verschiebung der Feststoffteilchen in Hohlräume bewirkt. Dieser Vorgang wird dadurch erkennbar, daß sich die Oberfläche des Verarbeitungsgutes schnell senkt und vorhandene Hohlräume ausgefüllt werden. Der Vorgang des V. läuft in den Phasen Füllen der Form – V. – Nachbearbeiten – Entformen ab.

Die Übertragung der Schwingungen kann unmittelbar durch Kontakt zwischen Arbeitsorgan und Verarbeitungsgut oder durch Schwingung der gesamten Form bzw. von Formteilen vorgenommen werden (s. Bild). Nach vollzogener Verdichtung ist besonders bei größeren Formteilen ein Nachbearbeiten (Glätten, Entnahme von Aussparungsteilen usw.) erforderlich. Für die Auslegung der Geräte und Steuerung der Vibrationsvorgänge sind folgende Parameter maßgebend:

- die Stoffkenngrößen zur Kennzeichnung des granulometrischen Zustandes (mittlere Korngröße), Feuchtigkeitsgehalt, Rohdichte, Fließverhalten),
- die Arbeitskenngrößen (Erregerkraft und Frequenz),



Varianten des Vibrierens
a) Innenvibration
b) Oberflächenvibration
c) Außenvibration (horizontal)
d) Tischvibration (vertikal)

- die Prozeßparameter (Gesamtschwingungsmasse, Schwingungsamplitude, Schwingungsbeschleunigung, Vibrationszeit).

[426]

Vickershärte – *s.* Härte

Viellochziegel – *ein Ziegel mit hoher Lochzahl (96 bis 144).* Die Lochform kann rund, oval oder quadratisch sein, wobei der Durchmesser nicht über 10 bis 12 mm liegen soll, damit eine möglichst hohe Druckfestigkeit gewährleistet ist. Verwendet wird gut verformbares Rohmaterial mit genügend hoher Bindefestigkeit.

Viskoelastizität – *Verhalten bestimmter Medien (keramische Massen, Suspensionen*, Flüssigkeiten), das sich in einer Zurückorientierung (Zurückverschiebung) der Teilchen* nach einer mechanischen Deformation äußert.* Der Spannungstensor ist in einem derartigen Medium von der gesamten Vorgeschichte der relativen Verschiebung bzw. des Verschiebungsgradienten abhängig.

s. Gedächtnis der Massen, *Weißenberg*-Effekt

Viskosimeter – *s.* Rheometrie

Viskosität (lat.: viscum = Mistel, auch der daraus gewonnene Vogelleim) – *Zähigkeit, innere Reibung, Eigenschaft der Stoffe, die ihre Ursache in den molekularen Wechselwirkungen hat und sich als Widerstand gegenüber Formänderungen äußert.*

- V. ist definiert als

$$\eta = \tau / D$$

η dynamischer V.-koeffizient (in Pa s bzw. N s m^{-2} oder kg m^{-1} s^{-1})
τ Schubspannung
D Geschwindigkeitsgefälle*.

Außerdem gilt

$$\eta = \nu \varrho$$

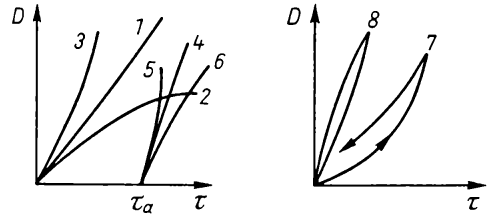
ν kinematische V. (in m^2 s^{-1})
ϱ Dichte (in kg m^{-3}).

Der Kehrwert der V. heißt Fluidität:

$$\eta^{-1} = \pi \quad \text{(in (Pa s)}^{-1}\text{)}.$$

Die V. wird mit Viskosimetern* bestimmt.

- Allgemein nimmt die V. bei Flüssigkeiten mit steigender Temperatur ab, bei Gasen zu. Bei niedermolekularen Flüssigkeiten (Wasser, echte Lösungen) ist der V.-koeffizient eine Konstante; man bezeichnet sie als *Newton*sche Flüssigkeiten. Bei Suspensionen*, hochmolekularen Lösungen und Schmelzen* sind Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle* nicht proportional; sie werden deshalb auch Nicht-*Newton*sche Flüssigkeiten genannt. Ihr Verhalten wird in sog. Fließkurven (s. Bild) oder rheologischen Modellen* dargestellt.



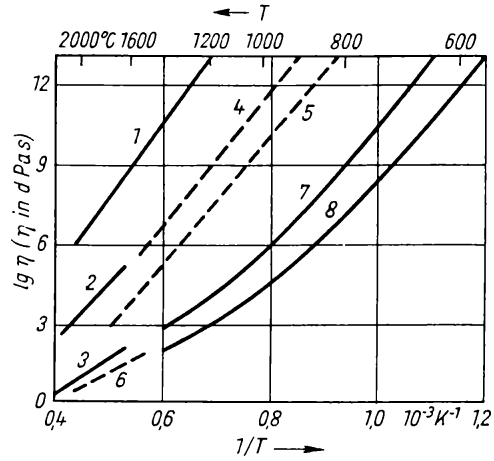
Fließkurven
*1 Newton*sche Flüssigkeit; *2* Dilatanz*; *3* Strukturviskosität*; *4 Bingham*-Viskosität; *5 Bingham*-Strukturviskosität; *6 Bingham*-Dilatanz; *7* Thixotropie*; *8* Rheopexie*

- Die V. von Silicatschmelzen ändert sich mit der Temperatur in weiten Grenzen, sie kann deshalb oberhalb der Transformationstemperatur T_g (s. Glas) durch die *Vogel-Fulcher-Tammann*-Gleichung erfaßt werden:

$$\lg \eta = A + \frac{B}{T - T_0} \qquad A, B, T_0 \text{ Konstanten.}$$

Zur Bestimmung der Konstanten werden mindestens 3 Wertepaare benötigt, meist bedient man sich bekannter Fixpunkte.

Einige Temperaturabhängigkeiten der V. in dPa s geben das Bild und die Tabelle an.



Temperaturabhängigkeit der Viskositäten η (in dPa s) von Kieselglas (*1*), $SiO_2 + Al_2O_3$ mit 90:10 Gew.-% (*2*) und 50:50 Gew.-% (*3*), Schmelzen von K-Feldspat (*4*), Na-Feldspat (*5*) und Ca-Feldspat (*6*), Hartporzellanglasur (*7*) und Natronkalkglas (*8*) [150]

	Temperatur in °C	Viskosität in dPa s
Luft	20	$1...2 \cdot 10^{-4}$
Wasser	20	$1 \cdot 10^{-2}$
Ethylalkohol	20	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$
Benzin	20	$6 \cdot 10^{-3}$
Schmieröl	20	10
Glycerin	20	11
Eis	0	10^{12}
Keramische Glasuren	Aufschmelztemperatur	$10^3...10^4$
Glas	20	10^{10}
	Schmelztemperatur	10

[52, 121, 133, 144, 150]

Vitreous China (VC) – *ein Halbporzellan*, dessen Ursprung in Nordamerika zu suchen ist; fast dicht (Wasseraufnahme <1 %), weißer Bruch. Gegenüber Steingut hat VC einen höheren Flußmittelanteil und gesinterten Scherben, beim Gießen geringere Standzeit, eine größere Festigkeit (Druckfestigkeit 330 bis 500 MPa, Zugfestigkeit etwa 15 MPa, Biegefestigkeit bis etwa 50 MPa), sehr gute Korrosionsfestigkeit. VC hat folgende Zusammensetzung: etwa 40 bis 50 % Tonsubstanz (zum größten Teil bildsamer Ton, zum geringeren Teil Kaolin), 20 bis 30 % Quarz, 20 bis 30 % Feldspat, 0 bis 3 % $CaCO_3$. Die Herstellung ist ähnlich dem Steingut, gebrannt wird i. d. R. im Einbrandverfahren, wobei die Brenntemperaturen bei etwa 1 250 bis 1 300 °C liegen. Glasiert wird durch Tauchen, Aufstreichen oder Spritzen. Verwendet werden Weichporzellanglasuren (blei- und borfreie, sog. *Feldspatrohglasuren*).

Verwendung: sanitärkeramische Erzeugnisse, Haushaltgeschirr

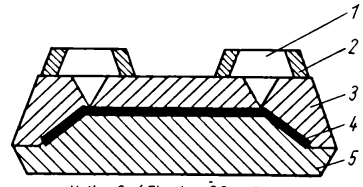
Vitrifikation (lat.: vitrum = Glas, facere = machen) – *Sinterung* mit Beteiligung größerer Mengen flüssiger Phase* (Glasphase*) *von tonkeramischen Werkstoffen, Schleifscheiben, glasigen Überzügen u. a.* Die Verdichtung des Scherbens erfolgt durch viskoses Fließen* der flüssigen Phase; dabei laufen sowohl physikalische als auch chemische Prozesse ab (Auflösen kristalliner Substanzen, Ausscheiden neuer Phasen).

V. kann als Synonym für nasse Sinterung aufgefaßt werden. [195]

Vitrokeram – *s.* Glaskeram

Vollfeuer (Scharffeuer) – beim Porzellanbrand der Brennabschnitt über 1 000 °C bis zum Schmelzen der Glasur bzw. bis zur Garbrandtemperatur.

Vollguß (Kernguß) – *eine Gießart, bei der die Hohlräume der Gipsform mit Gießmasse (Schlicker) ausgefüllt und die Wanddicken des herzustellenden Gegenstandes durch die Form bestimmt werden.* Die Scherbenbildung erfolgt durch Ansaugen nach zwei Seiten hin. Beim V. ist eine größere Scherbendicke möglich als beim Hohlguß. Bei Dicken über 10 mm ist ein homogenes Zusammenwachsen der beiden Scherbendicken nur bedingt gewährleistet. Der V. wird für Sanitärsteingut, dickwandige Feuertonwaren, Glashäfen, ff. Erzeugnisse, ovale Platten, Beilagschalen u. a. angewendet (s. Bild).



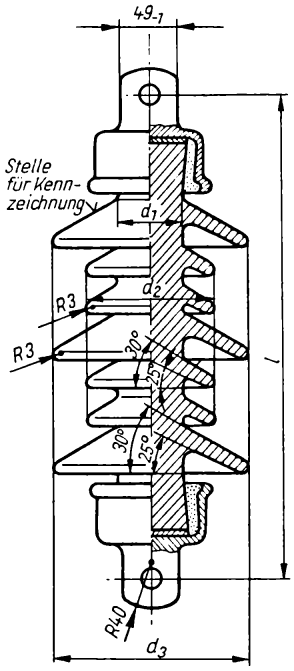
Vollguß (Flachgußform) (Schnitt)

Scherbenbildung beim Vollguß
1 Einguß
2 Aufsetzung
3 Oberteil
4 Formling
5 Unterteil

Vollkernbahnisolatoren – *Isolierelemente im Fahrleitungs- und Fahrleitungsschalterbau für elektrisch betriebene Bahnen.* V. sind absolut durchschlagsicher und weisen eine große Resistenz gegenüber mechanischen Zug-, Biege- und Druckbeanspruchungen auf.

Nebenstehendes Bild zeigt einen V. der Baureihe VKBS mit einem Durchmesser $d_1 = 65$ mm und 7 Schirmen, davon 3 Schirme mit vergrößertem Durchmesser. Als Werkstoff dient Porzellan KER 110 mit erhöhter mechanischer Festigkeit.

Vollkernisolator – *eine Gruppe von Isolatoren, die infolge ihrer massiven Ausführung undurchschlagbar sind und auf Zug beansprucht werden können.* Die ursprünglich gegen die Zugbeanspruchung von Porzellan erhobenen Bedenken sind durch die gezielte Entwicklung von Porzellan mit hoher mechanischer Festigkeit sowie die Nutzbarmachung des verfestigenden Einflusses hochwertiger Glasuren nicht mehr gerechtfertigt.



Vollkernbahnisolator Baureihe VKBS

Vollziegel – Bezeichnung für den normalen Backstein im Gegensatz zum Lochziegel.

Volumenbeständigkeit – *s.* Formbeständigkeit

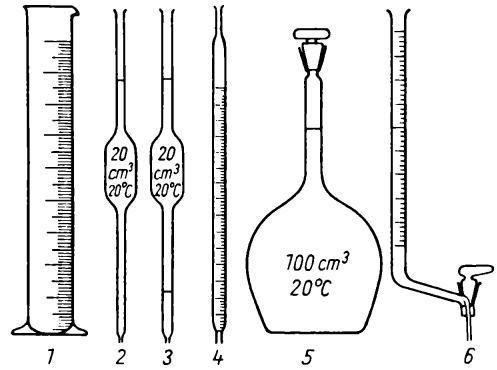
Volumendiffusion (Gitterdiffusion) – eine energetisch ungünstige Art von Diffusion*, die über Platzwechselvorgänge im Innern des Kristalls abläuft.

Volumetrie (Maßanalyse, Titrimetrie; lat.: volumen = Buch, Krümmung) – *Standardverfahren zur quantitativen chemischen Analyse von Stoffgemischen;* im Gegensatz zur Gewichtsanalyse (Gravimetrie) werden einer Lösung, die den zu bestimmenden Stoff enthält, nur gerade so viele Milliliter Reagenslösung zugesetzt, wie zur Umsetzung notwendig sind.

Die Durchführung einer volumetrischen Bestimmung ist an drei Bedingungen geknüpft:

- die zugrunde liegende chemische Reaktion muß schnell und quantitativ nach stöchiometrischen Verhältnissen ablaufen,
- die Herstellung einer geeigneten Reagenslösung von bekanntem Gehalt (sog. Titer) muß gewährleistet sein,
- der Äquivalenzpunkt muß eindeutig erkennbar sein durch
  - Farbumschlag (Indikator),
  - Änderung des Elektrodenpotentials (Potentiometrie),
  - Änderung des Diffusionsstromes (Amperometrie),
  - Änderung der Leitfähigkeit (Konduktometrie).

Die wichtigsten Gefäße zur Bestimmung von Flüssigkeitsvolumina zeigt das Bild.



Geräte zur Bestimmung von Flüssigkeitsvolumina

1 Meßzylinder
2 Ablaufpipette
3 Ablaufpipette mit oberer und unterer Meßraumbegrenzung
4 Meßpipette
5 Meßkolben
6 Bürette

s. Polarographie, Kolorimetrie

Vorbrand – *das Brennen von Rohstoffen mit starker Volumenveränderung (Cyanit, Sillimanit, Ton- und Rohschamotte u. a.).* Durch den V. erreichen diese Rohstoffe eine weitgehende Volumenstabilität, d. h., beim späteren Steinbrand wird so ein starkes Wachsen oder Schwinden vermieden.

Vorfeuer – *der erste Abschnitt eines keramischen Brandes* (bis etwa 150 °C). In diesem Bereich erfolgt das allgemeine Austreiben des nach dem Trocknen noch zurückgebliebenen geringen Wassergehaltes. Charakteristisch ist eine langsame Temperatursteigerung mit allmählichem Übergang zum eigentlichen Vollfeuer. Im allg. versteht man unter V. den Bereich bis etwa 1000 °C, in dem alle organischen Bestandteile verbrennen und das chemisch gebundene Wasser aus dem Brenngut ausgetrieben wird.

Vorgießen – *ein kombinierter Guß, der angewendet wird, wenn beim Drehen eine homogene Masseverteilung nicht möglich ist.* So werden z. B. breit ausgebildete (auch mit einem Relief versehene) Füße

von Gußtassen im Hohlguß vorgegossen. Ist der Schlicker zur zähen bildsamen Masse eingedickt, wird mit Drehmasse aufgeformt.

Vorsatzplatte – *die eiserne, formgebende Mundstückplatte vor dem Preßkopf einer Strangpresse* für die Herstellung von Biberschwänzen, Strangfalzziegeln, Deckenziegeln, Dränagerohren u. a.

Vorschmelz – *der gefrittete Teil der Fritteglasur, d. h. das Gemenge der ursprünglich wasserlöslichen und giftigen Rohstoffe mit der entsprechenden Menge anderer Bestandteile, die die Glasbildung ermöglichen.* Der V. bildet zusammen mit dem Nachsatz den sog. Mühlenversatz für die Feinmahlung in der Naßtrommelmühle.

Vorschrift, praktische – *s.* Masseversatz

Vorschrift, theoretische – eine besonders in der Feinkeramik übliche Einteilung der Massen und Werkstoffe in die rationellen Bestandteile TS (Tonsubstanz), Q (Quarz), F (Feldspat) und Oxide (Kalkspat, Magnesit). Sie ermöglicht, in bestimmten Grenzen Massen und Werkstoffe miteinander zu vergleichen, und entspricht dem Gedankengang der rationellen Analyse*.

Vorsintern – *thermische Vorbehandlung eines Stoffes oder eines Stoffgemenges unter Ablauf von Festkörperreaktionen.* Zweck des V. ist es, Stoffe, die nicht in der erforderlichen Oxidform vorliegen, zu ersetzen, zu verdichten, eine mehr oder weniger gezielte Reaktion zu erreichen, z. B. Spinellbildung bei Weichferriten, um die Schwindung beim Endsinterprozeß zu vermindern.

Vorwärmzone – *Teil des Tunnelofens von der Einfahrt bis zum ersten Brenner.* Das Brenngut wird hier durch die von der Brennzone kommenden Heizgase und durch die Speicherwärme des inneren Mauerwerks vorgewärmt bzw. aufgeheizt. In diesem Bereich erfolgt die Abgabe des restlichen Anmachwassers, der hygroskopischen Feuchtigkeit sowie des Kristallwassers. Menge und Temperatur des Abgasvolumens sind wichtig, da das Brenngut erwärmt und gleichzeitig seine Restfeuchte aufgenommen werden muß. Der Taupunkt darf nicht unterschritten werden. Der zulässige Temperaturanstieg hängt von der Schwindung und Festigkeit des Formlings (Rohlings), der Scherbendicke, der Gefügedichte u. a. ab. Temperaturunterschiede in der V. können sich durch zu große Massen des Wagenaufbaus, durch Falschlufteinbrüche am Wagenstoß, an der Sandrinnenverdichtung und an der Ofeneinfahrt, durch den natürlichen Auftrieb der Abgase u. a. ergeben.
s. Tunnelofen

W

Waage – *Gerät zur Bestimmung der Masse eines Körpers bzw. einer Stoffmenge unter Ausnutzung der Schwerkraft, die auf diesen Körper/Stoffmenge wirkt.* Im Schwerefeld der Erde ist die Gewichtskraft eines Körpers seiner Masse proportional.

Obwohl die lastaufnehmenden Teile den spezifischen Forderungen der Anwender angepaßt sind, kann man W. nach der Funktionsweise einteilen in einfache mechanische W., mechanische W. mit elektrischen Einrichtungen und elektrische bzw. elektronische W.

Mechanische W. sind in den letzten Jahren durch Anbau von Steuereinrichtungen auf pneumatischer, hydraulischer oder elektrischer Basis so vervollkommnet worden, daß sie fast allen Aufgaben in der Industrie gerecht werden können. *Elektrische W.* haben anstelle des mechanischen Hebelsystems ein oder mehrere Kraftmeßelemente (Sensoren*). Die Wägung erfolgt ohne Verwendung bewegter Teile und gewinnt damit an Robustheit.

W. werden im allgemeinen registriert und einer regelmäßigen Eichkontrolle unterzogen, wobei die Eichfehlergrenze meist <0,06 % liegen muß. [22]

s. Gattierungswaage

Wachs – *tierisches und pflanzliches Naturprodukt, das den Fetten sehr ähnlich ist und im engeren Sinne aus Estern höherer einbasiger Wachssäuren mit ein-, bisweilen auch zweiwertigen Alkoholen besteht.* Außerdem enthält W. noch freie langkettige aliphatische Säuren, Ketone und Kohlenwasserstoffe. Im weiteren Sinne gehören auch die festen Kohlenwasserstoffe, Erdwachse und Kohlenwasserstoffwachse der *Fischer-Tropsch*-Synthese dazu. W. sind knetbar, fest bis brüchig, grob bis feinkristallin, relativ niedrig viskos, haben einen bestimmten Erstarrungspunkt. Ihre Löslichkeit und Konsistenz ist stark temperaturabhängig. Nach *Gieser* und *Ivanovszky* werden die W. wie folgt eingeteilt:

1) pflanzliche W. und ihre Raffinate – Palmblätter-, Gräser-, Frucht- und Beerenwachse,
2) tierische W. und ihre Raffinate – Walrat, Bienen-, Chinesisches Insekten-, Wollwachs,
3) mineralische W. und ihre Raffinate – Braunkohlen- und Torf-Lösungsmittel-Extraktionswachs, Petroleumdestillate (u. a. die Paraffine), Ölschiefer-Krack-Destillationswachs, Erdwachs,
4) chemisch veränderte W. – Montanwachs-Raffinationsprodukte u. a.,
5) teilsynthetische W. – Säure-, Ester-, Alkohol-, Keton, Ether, Kohlenwasserstoffwachs, wachsartige Derivate der Bernsteinsäure, Phenooxiderivate,
6) vollsynthetische W.
W. haben in der keramischen Industrie ein breites Anwendungsfeld gefunden, so für Massen mit niedrigem Tonanteil und als Produktionshilfsstoffe.

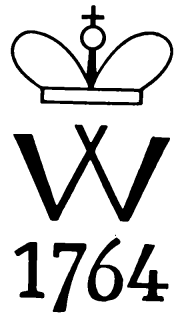
Wachsen – *eine meist durch irreversible mineralogische Umwandlungen hervorgerufene Volumenvergrößerung bestimmter Phasen beim Brennprozeß.* So ist z. B. die bleibende Wärmedehnung der Silicasteine von besonderer Bedeutung für die Setzweise im Ofen.
s. Nachwachsen

Wachsen der Kristalle – *s.* Kristallisation, Überschreitung

Wachstumsgeschwindigkeit – *Geschwindigkeit, mit der eine Kristallfläche in die Mutterlösung hineinwächst.* Sie ist eine vektorielle Größe und ist in kristallographisch ungleichwertigen Richtungen verschieden.

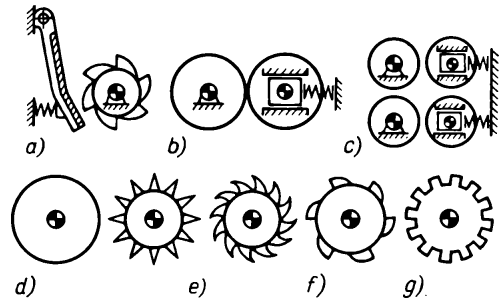
Wallendorfer Porzellanmanufaktur – *1763 gegründete Manufaktur, die Erzeugnisse mit einer ins Graue und Gelbliche gehenden Glasur herstellte.* Die anspruchsvollen Porzellane, die in ihren Rokokoformen Meißener und süddeutsche Vorbilder hatten, waren vielfach mit Cobalt-Unterglasur-Dekoren, reichen Vergoldungen und Blumenmalereien versehen. In der Plastik entstanden volkstümliche Gestalten (Trompeter, Husar, Trinker usw.), das Gebrauchsgeschirr wirkte etwas plump. Der heutige, volkseigene Betrieb ist bemüht, neben der Pflege herkömmlichen Porzellans in der Figurenherstellung moderne Erzeugnisse zu entwickeln (s. Bild).

Walzenbrecher – *eine kontinuierlich arbeitende Maschine zur Grobzerkleinerung weicher bis mittelharter Stoffe (Gesteine, Erze, Koks, Salze, Kreide u. a.).*



Fabrikmarke Wallendorfer Porzellanmanufaktur

Das Gut wird zwischen zwei gegenläufige (gleiche oder unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeit), mit Nocken, Stacheln oder Zähnen versehene Walzen eingezogen und dort durch Druck und Reibung (evtl. auch Scherung und Schlag) zerkleinert. Eine Walze ist festgelagert, die andere kann bei zu hartem Brechgut notfalls ausweichen. Zerkleinerungsgrad 4:1 bis 6:1; Umfangsgeschwindigkeiten 2 bis 12 m s^{-1}. Bei *Walzenfeinbrechern* (Walzenmühlen) haben die Walzen glatte Oberflächen, für die Mittel- und Feinzerkleinerung von mittelhartem bis weichem Gut geriffelte Oberflächen; Zerkleinerungsgrad 3:1 bis 4:1; Austragsgut <8 mm. (s. Bild)



Einteilung der Walzenbrecher
a) Einwalzenbrecher
b) Zweiwalzenbrecher
c) Vierwalzenbrecher
d) Glattwalze
e) Zahnwalze
f) Nockenwalze
g) Riffelwalze

Walzenstuhl – *eine Walzenmühle mit stuhlförmigem Gehäuse zum Zerreiben bzw. Zerdrücken* der als pastöse Suspensionen vorliegenden Feststoffteilchen und Agglomerate (Farben, Pasten für den Siebdruck, dickflüssige Emulsionen). Zwischen den mit unterschiedlicher Geschwindigkeit laufenden wassergekühlten (auch beheizten) Hartguß- und Stahlwalzen (auch Porzellan) werden

z. B. kleine Farbklümpchen zerrieben, wobei jedes Farbpartikelchen vollständig mit Öl benetzt werden muß, damit ein gleichmäßig dünner Farbfilm von den Walzen abgenommen werden kann (Grenzkorn etwa 30 µm). Auf dem Mantel sind sägezahnartige Einkerbungen schraubenlinienförmig verteilt, so daß das Gut in der Breite gleichmäßig verteilt in den Mahlspalt zwischen den Walzen eingezogen wird (s. Bild).

Wandfliesen – *s.* Fliesen

Wandverluste – *Abstrahlverluste, die sich insbesondere durch Wärmeabgabe der Öfen nach außen ergeben.* Sie sind durch die Ofenkonstruktion festgelegt.

Zur Minderung der W. gilt allgemein: die Dämmung der Verluste muß bereits auf der heißen Ofenseite beginnen, z. B. durch konfektionierte keramische Faserwerkstoffe. Durch eine innere Wärmedämmung ergeben sich dann Möglichkeiten, für die Zustellung* der Hintermauerungen weniger feuerfeste Dämmstoffe einzusetzen.

s. Wärmebilanz

Wange – *eine Bezeichnung für die Umfassung des gesamten Schornsteins, seine Außenwand.*

Wannenstein – *ein zur feuerfesten Auskleidung von Glaswannen dienender Schamottestein mit einem Al_2O_3-Gehalt von 22 bis 28 % (gelegentlich auch bis zu 45 %, der nach dem Naßknet-, Gieß-, Preßluft-, Stampf- oder Rüttelverfahren hergestellt wird.* W. müssen dem Angriff der Glasschmelze widerstehen. Sie dürfen auch bei nicht vollständig gleichmäßigem Angriff keine Steinchen in die Schmelze abgeben und keine färbenden Bestandteile in das Glas einbringen.

Wärmebilanz – *eine für wärmetechnische Anlagen, Trockenanlagen und Öfen zusammengefaßte, wertmäßige Gegenüberstellung zur Verfügung stehender und verbrauchter Wärmemengen,* einschließlich Verluste. Eine W. gibt Auskunft über Wärmeaufkommen, Wärmeverbrauch und Wärmeverluste; aus ihr kann der Wirkungsgrad der betreffenden Anlage ermittelt werden. Schaubildlich werden W. durch *Sankey*-Diagramme dargestellt.

Beispiel: Wärmebilanzgleichung für einen Tunnelofen (nach *E. Krause* [157])

Wärmeeinnahme = Nutzwärme und Verluste

Brennstoffwärme = Wärme zur Erhitzung des Brenngutes und Verluste

$$Q_B = Q_N + Q_{WV} + Q_A + Q_{SP} - Q_K \text{ (in kJ h}^{-1}\text{)}$$

Q_B mit dem Brennstoff aufgegebene Wärme
Q_N Nutzwärme zur Erhitzung des Brenngutes
Q_{WV} Wandverluste
Q_{SP} Speicherverluste der Tunnelofenwagen u. a.
Q_A Abgasverluste
Q_K in der Kühlzone zurückgewonnene Kühlwärme

Nutzwärme

$$Q_N = M_N(c_p(t_2 - t_1) + p) \text{ (in kJ h}^{-1}\text{)}$$

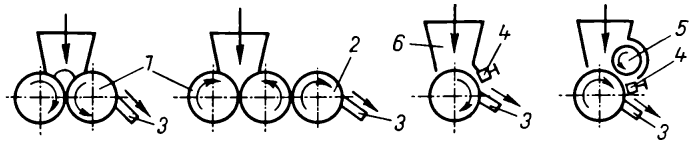
M_N Brenngutmasse (in kg h^{-1})
c_p spezifische Wärme des Brenngutes (in kJ (kg K)$^{-1}$)
t_2 Garbrandtemperatur (in °C)
t_1 Eingangstemperatur des Brenngutes (in °C)
p Summe der endo- und exothermen Reaktionswärmen

Ein großer Teil Nutzwärme wird in der Kühlzone der Öfen regenerativ zurückgewonnen (s. Wärmeflußbild und Tabelle).

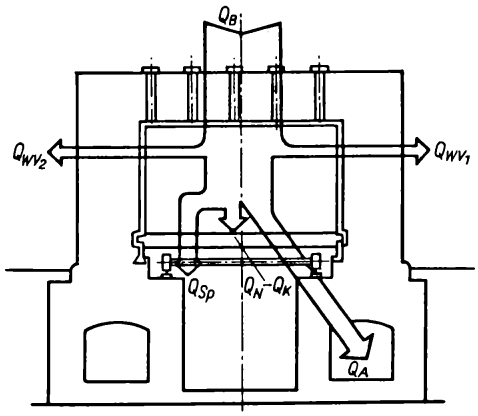
Wärmedämmstoffe – *hitzebeständige und feuerbeständige keramische Baustoffe, die durch eine geringe Wärmeleitung* charakterisiert sind.* W. haben die Aufgabe, insbesondere die Wandverluste* von Öfen zu mindern; sie können sowohl auf der heißen Ofenseite eingesetzt werden als auch zur Hintermauerung (s. Tabelle S. 516).

Wärmedehnung – *s.* Dilatation

Wärmedehnung mehrphasiger Stoffe – In einem mehrphasigen System weist jede Phase ihre typische thermische Ausdehnung* auf; im allgemeinen begnügt man sich jedoch mit einem gemittelten Ausdehnungskoeffizienten $\bar{\alpha}$. Für einen Werkstoff aus i Komponenten mit den Volumen-



Walzenstuhl-Bauarten für die Naßzerkleinerung
1 Walze zur Hauptbeanspruchung
2 Abnahmewalze
3 Schaber
4 Barren
5 Eintragwalze
6 Aufgabeguttrichter



Wärmeflußbild

anteilen V_i und den Kompressionsmodulen K_i erhält man nach *Lundin*:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \frac{\alpha_i K_i V_i}{3K_i + 4G_m}}{\sum \frac{K_i V_i}{3K_i + 4G_m}} \approx \bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i K_i V_i}{\sum K_i V_i},$$

wobei G_m den Schubmodul der kontinuierlichen Matrix darstellt, in die die übrigen Komponenten eingebettet sind. Erfahrungsgemäß weichen die gemittelten Ausdehnungskoeffizienten $\bar{\alpha}$ nicht sehr stark vom einfachen linearen Ansatz

$\bar{\alpha} = \sum V_i \alpha_i$ ab. [150, 533]

s. Kompressibilität, *Grüneisen*-Beziehung

Wärmedurchgangszahl *(k) – gibt an, wieviel J bei einer Temperaturdifferenz von 1 K durch eine Wand von 1 m² in 1 s fließen*; die Maßeinheit $W(m^2\,K)^{-1} = J(m^2\,s\,K)^{-1}$ (≙ der Maßeinheit des Wärmeübergangskoeffizienten α). Es gilt:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

und bei mehrschichtigen Wänden

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \sum \frac{\delta}{\lambda}}$$

α_i Wärmeübergangskoeffizient innen (in $W(m^2\,K)^{-1}$)
α_a Wärmeübergangszahl außen (in $W(m^2\,K)^{-1}$)
δ Dicke der Trennwand (in m)
λ Wärmeleitfähigkeit (in $W(m\,K)^{-1}$).

Wärmeleitung – *Energietransport durch Molekülbewegung in Richtung zur abnehmenden Temperatur.* Während in Kristallen nur diese Art des Energietransportes stattfindet, treten bei flüssigen und gasförmigen Stoffen noch Konvektion und Strahlung auf. In dichten mehrphasigen keramischen Werkstoffen erfolgt die W. im wesentlichen wie in Kristallen, bei porösen keramischen Werkstoffen wird eine aus W., Konvektion und Strahlung zusammengesetzte Größe ermittelt.

Um den Wärmeleitwert λ (auch Wärmeleitfähigkeit genannt) einer Probe zu ermitteln, muß für einen stationären, gleichmäßigen Wärmestrom gesorgt werden, für den folgende Gleichung gilt:

$$Q = \lambda\, z\, A(t_1 - t_2)/\delta$$

Q Wärmemenge
λ Wärmeleitfähigkeit
z Zeit
$t_1 - t_2$ Temperaturdifferenz
A Fläche
δ Dicke.

λ ist eine Materialkonstante; sie stellt diejenige

Wärme-bilanzanteil		in MJ h⁻¹	in %	% des Wärme-aufwandes Q_B
Brennstoffwärme	Q_B	38,64	72,5	100,0
Kühlwärme	Q_K	14,70	27,5	38,0
		53,34	100,0	–
Nutzwärme	Q_N	21,63	40,5	56,0
Gesamt-Wandverluste	Q_{WV}	10,08	18,9	26,1
Abgasverluste	Q_A	13,23	24,8	34,2
Speicherwärmeverluste	Q_{SP}	8,40	15,8	21,8
		53,34	100,0	–

Zusammenstellung einiger hitzebeständiger und feuerfester Wärmedämmstoffe (Auszug aus [315])

Erzeugnis	Anwendungs-temperatur in °C	Rohdichte in kg m^{-3}	Druck-festigkeit in MPa	Wärmeleitfähigkeit in W(m K)$^{-1}$ 20 °C	600 °C	1 000 °C
Kieselgursteine	750	650	0,4	0,14	0,185	0,25
Tonschamotte-leichtsteine (SL 14)	1 350	1 400	7,0	0,58	0,76	0,98
Tonerdeleicht-steine (TL 10)	1 500	950	3,0	0,41	0,46	0,54
Kaolinschaum-leichtsteine (KSL 7)	1 300	700	1,2	0,20	0,28	0,34
Schaumkeramik (Kawenit)	1 800	1 000	12,0	2,10	1,00	0,84
ungeformte Leichtbetone (FG 13-222)	1 300	800	1,0	0,26	0,30	0,50
Leichtbeton-Fertig-teile (F 16-333)	1 600	800	1,5	0,50	0,36	0,47
keramische Faser-platten	1 100	250	–	0,09	0,17	0,26

Energie dar, die durch $A = 1\,\mathrm{m}^2$ in einer Sekunde fließt, wenn $\delta = 1$ m und die Temperaturdifferenz an den Wandseiten $\Delta t = 1$ K beträgt.

Setzt man obige Gleichung $Q = 1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{Ws}$, $z = 1$ s, $A = 1\,\mathrm{m}^2$, $t = 1$ K und $\delta = 1$ m, so ergibt sich die SI-Einheit für λ zu W(m K)$^{-1}$.

Die Temperatur nimmt von t_1 auf t_2 linear ab (s. Bild 1); als Wärmestrom bezeichnet man die in der Zeiteinheit durchfließende Wärme:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{z} = \lambda\, A\, \Delta t/\delta = \Delta t/R_\lambda .$$

Der Wert $\lambda/\delta\, A = R_\lambda$ wird als Wärmeleitwiderstand bezeichnet.

Die Wärmeleitfähigkeit kann nur experimentell

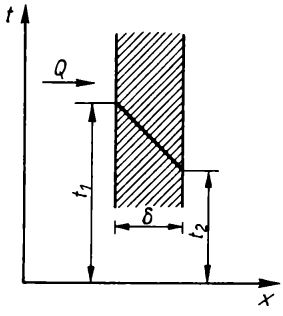


Bild 1. Wärmeleitung durch eine ebene Wand

bestimmt werden; die Werte für eine Anzahl keramischer Werkstoffe sind in Bild 2 (nach *H. Scholze*) wiedergegeben.

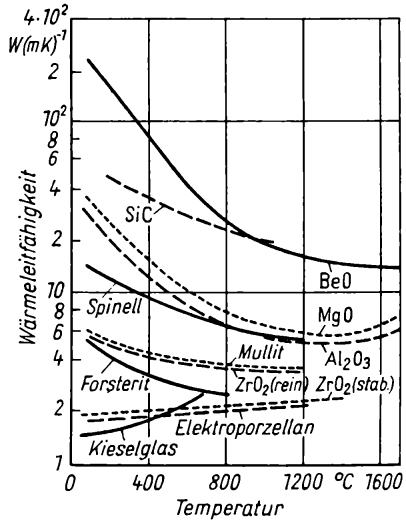


Bild 2. Wärmeleitfähigkeit von Kieselglas und einiger auf 0 % Porosität korrigierter Werkstoffe

Besteht eine Wand aus mehreren Schichten von verschiedener Dicke, so gilt, da der Wärmestrom $\dot{Q}$ durch alle Schichten hindurchgeht (Bild 3):

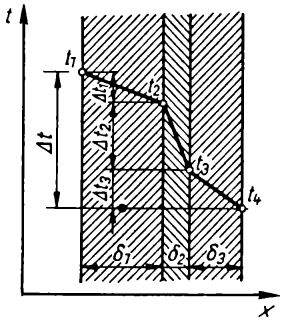


Bild 3. Wärmeleitung durch eine mehrschichtige Wand

$$\dot{Q} = \frac{\Delta t}{R_{\lambda\,\mathrm{ges}}}, \text{ wobei } R_{\lambda\,\mathrm{ges}} = R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 3}.$$

(In Analogie zum *Ohm*schen Gesetz gilt: der Wärmeleitwiderstand einer mehrschichtigen Wand ist gleich der Summe der Wärmeleitwiderstände der einzelnen Schichten.)

Der Vorgang der Wärmeleitung in einem Kristall wird von seinem Symmetrieverhalten bestimmt und läßt sich leicht mit Hilfe von Wärmeleitungsfiguren überprüfen. Zu diesem Zwecke wird auf die Kristallplatte Wachs aufgetragen und mit einer (möglichst punktförmigen) Wärmequelle erwärmt. Dabei schmilzt das Wachs um die Wärmequelle. Bei kubischen Kristallen haben die Wärmeleitfiguren Kreisform. Bei wirteligen Kristallen bildet sich nur senkrecht zur *c*-Achse ein Kreis aus, sonst entstehen Ellipsen. Die übrigen Kristallsysteme liefern nur Ellipsen.

Die Wärmeleitung erfolgt über Schwingungen der Gitterbausteine. Wird eine Stelle des Kristalls erwärmt, so treten dort erhöhte Schwingungen auf. Da die nächsten Nachbarn über die Gitterkräfte gekoppelt sind, beginnen diese mitzuschwingen und leiten auf diese Weise die Schwingungen durch den Kristall hindurch. Der Übertragungsmechanismus läßt sich an einem Modellversuch veranschaulichen. Wird das erste Pendel einer gekoppelten Reihe angestoßen (s. Bild 4), so wird

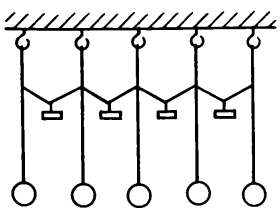


Bild 4. Gekoppelte Pendel

sich nach mehreren Schwingungen auch das zweite in Bewegung setzen usw. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Schwingung fortpflanzt, ist um so größer, je stärker die Kopplung ist. Die Fortpflanzung sollte mit Schallgeschwindigkeit vor sich gehen. Tatsächlich ist sie aber um viele Größenordnungen langsamer. Die Ursache liegt in der Disharmonie der Gitterwellen. Die Streuung wird um so stärker, je größer der Masseunterschied der Bausteine ist. Gitterstörungen bedingen ebenfalls eine Veränderung des Wärmetransportes. [419]

s. Temperaturleitfähigkeit

Wärmestrahlung (Temperaturstrahlung) – *Wärmeübertragung durch elektromagnetische Wellen* (ohne Mitwirken eines stofflichen Mediums). W. wird durch die Wellenlängen vom Infrarot (≈0,3 mm) bis zum sichtbaren Licht, das der glühende Körper emittiert, besorgt, wobei das Emissionsvermögen gleich dem Absorptionsvermögen ist. Für den absolut schwarzen Körper gilt das *Stefan-Boltzmann*sche Gesetz:

$$Q = \varepsilon\, C(T/100)^4$$

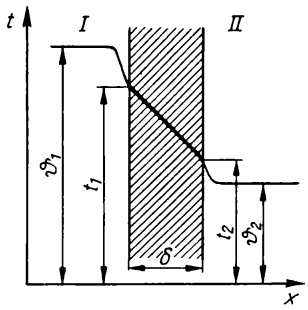
Q emittierte Wärmemenge (in W m^{-2})
T Körpertemperatur (in K)
C Strahlungszahl des absoluten schwarzen Körpers mit 5,67 W$(m^2\,K^4)^{-1}$ (Der Faktor $(1/100)^4$ ist physikalisch ohne Bedeutung, er dient der Vereinfachung der Zahlenrechnung.) $\varepsilon = 1$

Keramische Baustoffe sind jedoch Graustrahler mit $\varepsilon < 1$, wie
Schamotte $\varepsilon = 0{,}75$ bis 0,85
Porzellan $\varepsilon = 0{,}95$
poliertes Metall $\varepsilon = 0{,}02$.

Wärmeübergangskoeffizient *(α) – Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz zwischen Medium und Wand von 1 K auf 1 m^2 in 1 s übertragen wird.*

Soll z. B. ein Wärmestrom in der Zeiteinheit vom Medium *I* auf das Medium *II* übertragen werden, so findet zunächst ein Wärmeübergang vom Medium *I* auf die erste Oberfläche der Wand statt, dann wird die Wärme durch die Wand geleitet und schließlich von der zweiten Oberfläche auf das Medium *II* übertragen, d.h., der Wärmedurchgang besteht aus drei Einzelvorgängen, zwei Übergängen und einem Leitvorgang (s. Bild S. 518).

Ein Übergang ist nur möglich, wenn $\vartheta_1 > t_1 > t_2 > \vartheta_2$. Ein Übergang von einem Medium an die Wand und umgekehrt ist ein komplizierter Vor-



Wärmedurchgang

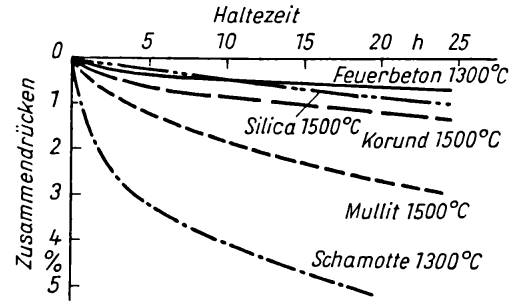
gang, der von der Strömung des Mediums abhängt. Gewöhnlich setzt man den auf die Wand übertragenen Wärmestrom $\dot{Q}$ proportional zur Differenz zwischen der mittleren Temperatur des Mediums und der Wandtemperatur:

$$\dot{Q} = \alpha A(\vartheta_1 - t_1)$$

$\dot{Q}$ Wärmestrom
A Fläche.

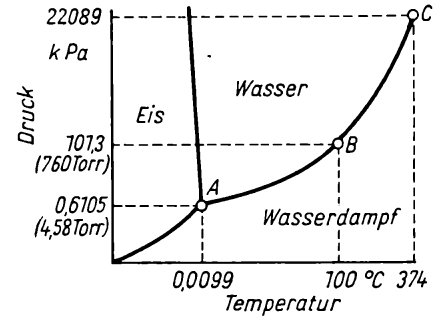
α wird gemessen in $J(m^2\,s\,K)^{-1} = W(m^2\,K)^{-1}$.
Der W. ist keine Stoffkonstante, er hängt ab von der Beschaffenheit der Wand, von der Geschwindigkeit und von der Art des strömenden Mediums. Der Wert kann zwischen 10 und 20000 schwanken, wobei langsam strömende Gase den kleinsten und kondensierende Dämpfe den höchsten Wert haben. Als Wärmeübergangswiderstand bezeichnet man $R_\alpha = 1/\alpha A$ mit der Maßeinheit $K\,W^{-1}$ und $1/\alpha$ als spezifischen Wärmeübergangswiderstand. [419, 526]

Warmfestigkeitsprüfung – *Untersuchung des Einflusses hoher Ofentemperaturen auf das Festigkeits- und Kriechverhalten von feuerfesten Werkstoffen.*
Zur Prüfung werden die Proben auf eine bestimmte Temperatur aufgeheizt und über 24 h mit 0,2 bis 0,5 MPa belastet. Aus der Stauchung oder der daraus zu berechnenden Fließgeschwindigkeit zwischen der 10. und der 24. Stunde ergeben sich Anhaltspunkte für die Belastbarkeit des Werkstoffes bei höheren Temperaturen. Im folgenden Bild sind Fließkurven (nach *Petzold*) einiger feuerfester Werkstoffe zusammengestellt, die auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Prüftemperaturen deutliche Unterschiede erkennen lassen. Während Schamotte* schon bei relativ niedrigen Temperaturen kriecht, zeigen die vorwiegend oxidischen Werkstoffe geringere Kriechgeschwindigkeiten. [144]



Druckdauerstandsverhalten feuerfester Werkstoffe [168]

Wasser, hydrothermaler Zustand (griech.: hydor = Wasser, thermos = warm) – *durch hohe Temperaturen und Überdruck gekennzeichneter Zustand des W.* Am kritischen Punkt des W. bei einer Temperatur von 374,15 °C, einem Druck von 22,41 MPa und einer Dichte von 0,315 g cm^{-3} sind die Dichten von W. und Wasserdampf gleich (s. Bild); man unterscheidet danach:



p-T-Diagramm des Wassers
(Die Trennungslinie zwischen festem und gasförmigem Aggregatzustand endet im sog. Tripelpunkt *A*. Während die Trennungslinie zwischen der festen und der flüssigen Phase bis zu höchsten Drücken existiert, endet die zwischen flüssiger und gasförmiger Phase in *C*, dem sog. kritischen Punkt. *B* deutet den Siedepunkt bei Normaldruck an.)

- einen unterkritischen Bereich, der folgende stofflichen Veränderungen bewirkt:
  - Auflösung fester Stoffe, wobei das Verhalten der Stoffe sehr unterschiedlich ist; z. B. wird Quarz mit steigender Temperatur stark angegriffen,
  - Dissoziationen, Hydratationen und Hydrolysen,
  - chemische Reaktionen in flüssiger Phase,

- chemische Reaktionen mit festen Oberflächen (topochemische* Reaktion; Neubildungen stellen gewöhnlich Hydrate bzw. Hydroxide dar),
- die Viskosität des W. nimmt mit steigender Temperatur um eine Zehnerpotenz ab; Materietransport durch Diffusion und konvektive Strömungsvorgänge ist stark erhöht;

– einen überkritischen Bereich (sog. fluider Bereich), der charakterisiert ist durch:
- die Dichte des W. ist in Abhängigkeit von Druck und Temperatur in weiten Grenzen veränderlich,
- die Viskosität liegt bei 10^{-1} bis 10^{-2} mPa s,
- die elektrische Leitfähigkeit wächst mit steigender Temperatur,
- die Löslichkeit vieler anorganischer Verbindungen nimmt zu (s. Tabelle),
- Neubildungen sind wasserfrei.

[549, 550]

Löslichkeit einiger anorganischer Verbindungen in überkritischem Wasser bei 500 °C und etwa 103 MPa (nach *Franck*)

Substanz	Löslichkeit in ppm	Substanz	Löslichkeit in ppm
UO_2	0,2	SiO_2	2 600,0
Al_2O_3	1,8	GeO_2	8 700,0
SnO_2	3,0	$CaSO_4$	20,0
NiO	20,0	$BaSO_4$	40,0
Nb_2O_5	28,0	$PbSO_4$	110,0
Ta_2O_5	30,0	Na_2SO_4	4 300,0
Fe_2O_3	90,0	$CaCO_3$	120,0
BeO	120,0	ZnS	204,0

Wasseraufnahme (WA) – *das in Prozent ausgedrückte Verhältnis der bei vollständiger Tränkung aufgenommenen Wassermenge eines Körpers zur Masse des bei 110 °C ± 5 K bis zur Massekonstanz getrockneten Körpers.* Das *WA* ist abhängig von den offenen Poren des Körpers. Es gilt die Beziehung

$$OP = WA\,\varrho_R$$

OP offene Porosität (in %)
WA Wasseraufnahme (in Masse-%)
ϱ_R Rohdichte (in g cm^{-3}).

Folgende Richtwerte werden angegeben: Porzellan, VC, Steinzeug <0,5 %, Halbporzellan 0,5 bis 5,0 %, Hartsteingut 5 bis 13 %, Weichsteingut 13 bis 16 %, Schamotte 11 bis 15 %, Silica 10 bis 13 %. Der Brenngrad grobkeramischer Werkstoffe, bei dem das *WA* nicht mehr als 6 % beträgt, wird als Klinkerpunkt und der Brenngrad, bei dem das *WA* <2 %, als Sinterpunkt bezeichnet.

Wasserbindung

1) In chemischen Verbindungen/Mineralen vorhandenes Wasser; dabei ist zu unterscheiden:

- Konstitutionswasser, d. h. »strukturell« gebundenes Wasser; es erscheint in chemischen Formeln als OH-Gruppen. Dieses Wasser entweicht erst beim Erhitzen auf Temperaturen von einigen Hundert Grad Celsius (z. B. Malachit $Cu_2[(OH)_2/CO_3]$, Kaolinit $Al_2[(OH)_4/Si_2O_5]$. Neben der Hydroxidschreibweise ist auch die oxidische Schreibweise gebräuchlich, wie $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; sie läßt jedoch den Bindungscharakter nicht erkennen.
- Kristallwasser, d. h. als Gitterbausteine in Molekülform vorliegendes Wasser. Kristallwasser wird beim Erhitzen relativ leicht und oft in Stufen abgegeben. Dabei bricht das Gitter zusammen, z. B. Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow$ Halbhydrat $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O \rightarrow$ Anhydrit $CaSO_4$.
- Zeolithwasser, d. h. in Hohlräumen von Strukturen adsorbiertes bzw. locker eingelagertes Wasser; es besteht die Möglichkeit der stufenlosen Abgabe und Wiederaufnahme des Wassers bzw. auch anderer Substanzen ohne Änderung der Gitterstruktur, z. B. Na-Zeolith (Natrolith) $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] + 2H_2O$.
- Kolloidwasser, d. h. Absorptionswasser in Hydrogelen. Kolloidwasser wird kontinuierlich abgegeben, aber nicht in jedem Falle – etwa durch Alterung – wieder aufgenommen, z. B. Opal $SiO_2 \cdot aq$.
- Zwischenschichtwasser (z. T. auch Quellungswasser); es wird in Schichtgittermineralen zwischen den Schichten eingelagert und weitet dabei das Gitter auf. Zwischenschichtwasser kann kontinuierlich aufgenommen und abgegeben werden, z. B. Montmorillonit

$$\left\{\begin{matrix} Al_{1,67}Mg_{0,33}[(OH)_2/Si_4O_{10}]^{0,33-} \\ Na_{0,33}(H_2O)_4 \end{matrix}\right\}$$

M. kann das Mehrfache des in der Formel angegebenen Wassers aufnehmen. Bei Flüssigkeitseinschlüssen handelt es sich meist um die sog. Mutterlösungen, die beim Wachsen der Kristalle mit eingeschlossen werden.

2) In keramischen Massen (bzw. bei Tonen/Kaolinen) werden unter dem Aspekt der Trocknung unterschieden:
- Adhäsionswasser; es ist fest an der Oberfläche gebunden, seine restlose Entfernung erfolgt erst bei höheren Temperaturen.
- Hüllenwasser; es umgibt die Teilchen.
- Porenwasser; es füllt die Räume zwischen den Teilchen aus. Hüllenwasser und Porenwasser sind kapillar gebunden und werden sehr leicht abgegeben.

[8, 9, 15 bis 17]

s. Oberflächenfeuchtigkeit (Bergfeuchte), *Bourry*-Diagramm

Wasserglas – *glasig erstarrte Schmelzen von Alkalisilicaten der allg. Formel* $Me_2^+O \cdot nSiO_2$; im allgemeinen Sprachgebrauch werden die wäßrigen Lösungen dieser Alkalisilicate als W. bezeichnet. Man unterscheidet *Natron-* und *Kaliwasserglas.* Für keramische Zwecke ist Natronwasserglas in der Zusammensetzung $Na_2O \cdot 3{,}3\,SiO_2$ mit einer Dichte von 1,41 bis 1,43 g cm^{-3} vielfach anwendbar: als Verflüssigungsmittel (Peptisator) bei Schlickern, als Binder in Massen u. a. Es neigt aber dazu, beim Trocknen an die Oberfläche zu wandern, was man durch Zusätze von 0,3 bis 0,4 Masse-% $NaHCO_3$ verhindern kann.

Wasserglasglasur – *eine leicht schmelzende (bleifreie) Glasur, deren Flußmittelanteil weitgehend durch festes Wasserglas abgedeckt wird.* W. sind haarrißanfällig, neigen zum Entglasen und sind infolge Neigung zur Wasserlöslichkeit von geringer Beständigkeit.

Watteaumalerei – *eine nach dem französischen Rokoko-Maler Watteau (1684–1721) benannte Malerei, die vorwiegend galante und höfische Szenen darstellt.* W. ist heute die Bezeichnung für im übertragenen Sinne ähnliche Szenen, in der Art Watteaus gemalt, mit kupfergrünen Farben.

Wechsellagerungsminerale (mixed layer) – *Gruppe von Schichtsilicaten* im Korngrößenbereich der Tonminerale*, bei denen Zwei- und Dreischichtpakete in Richtung der kristallographischen c-Achse gestapelt sind.* W. lassen sich keinem eindeutigen Stabilitätsbereich zuordnen, vermutlich stellen sie eine Übergangsphase dar. Sie werden unterteilt in

Typ 1 mit geordneter Abfolge der Pakete,

Typ 2 mit statistisch ungeordneter Folge der Pakete,

Typ 3 mit teilweise geordneter Folge der Pakete.

Viele Schichtsilicate können sowohl in regelmäßiger als auch unregelmäßiger Abfolge zusammentreten. *Typ 1* kann aufgrund der Röntgeninterferenzen als definierte Mineralspezies aufgefaßt werden, z. B. Hectorit mit der regelmäßigen Folge von Montmorillonit/Illit sowie Corrensit mit der Folge Vermiculit* und quellfähiger Chlorit*. Bei Vertretern der *Typen 2* und *3* werden zusammentretende Schichtsilicate einzeln genannt, wobei die mengenmäßig vorherrschende Mineralart zuerst aufgeführt wird.

W. sind mit erheblichen %-Anteilen am Aufbau vieler Kaoline und Tone beteiligt, ihr Einfluß auf technologische Parameter (z. B. *TBF*, Bildsamkeit, Abpreßzeiten, Sinterverhalten u. a.) ist signifikant.

[8, 16, 48]

***Wedgwood*-Geschirr** – *nach dem Engländer Wedgwood (1730–1795) benanntes Steingutgeschirr aus bildsamem Ton und Kaolin, Quarz, Schwerspat, Gips u. a.* Wegen seines steinzeugähnlichen Charakters wird es auch verschiedentlich zum Feinsteinzeug gerechnet. Der Grundscherben, der oft mit Reliefs versehen ist, wird vollständig oder teilweise mit einer durch Metalloxide gefärbten Masse überzogen und auch durch Glasuren (meist innen) verziert. Charakteristische Farben sind u. a. Türkis, Gelb, Creme, Schwarz, Feueropal, Seladon u. a. Bekannt sind die mattweißen Reliefs griechischer Szenen auf einfarbigem oder oft auch durchgefärbtem himmelblauem Grund.

***Weibull*-Theorie** – *von W. Weibull 1938 vorgestellte statistische Festigkeitstheorie.* Das wahrscheinlichkeitstheoretische Modell der schwächsten Kettenglieder (»wheakest link concept«) wird auf das Kontinuum übertragen, wobei das Volumenelement die Rolle des Kettengliedes übernimmt.

Durch Übergang auf infinitesimale Betrachtungsweise können ungleichmäßige Spannungsverteilungen berücksichtigt werden (Gegensatz: nur gleichmäßige Belastung der Glieder einer Kette). Die W.-Th. liefert den Zusammenhang zwischen Größe, Geometrie, Belastungsart sowie statistischen Festigkeitsverteilungen der Volumenelemente einerseits und der Bruchwahrscheinlichkeit andererseits. Als statistische Verteilung für die Festigkeit der Volumenelemente wird die Weibull-Verteilung verwendet:

$$S_o = 1 - e^{-\left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_o}\right)^m}$$

S_0 Bruchwahrscheinlichkeit der Volumenelemente der Größe V_0
σ mechanische Beanspruchung
σ_u, σ_0, m Werkstoffparameter

σ_u ist der untere Grenzwert der Belastung, bei dem ein Bruch auftreten kann; dieser Parameter wird meist $\sigma_u \equiv 0$ gesetzt, d. h., es wird nur die zweiparametrische Verteilung verwendet. Dann ist σ_0 der Parameter für das Festigkeitsniveau des Werkstoffes und m der Parameter der Festigkeitsstreuung, wobei kleine m-Werte einer großen Streuung entsprechen. Die Bruchwahrscheinlichkeit eines gleichmäßig auf Zug belasteten Körpers mit Volumen V ergibt sich zu

$$S_V = 1 - e^{-\frac{V}{V_0}\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m}.$$

Ist, wie z. B. im Falle der Biegung, eine ungleichmäßige Spannungsverteilung vorhanden, so ergibt sich:

$$S_V = 1 - e^{-\frac{1}{V_0}\frac{1}{\sigma_0^m}\int_V^m \sigma(x,y,z)\,dx\,dy\,dz},$$

wobei das Volumenintegral nur über Bereiche mit Zugbeanspruchung erbracht wird.
Das Volumenintegral ist nur für einfache Geometrien analytisch lösbar, z. B. für den Rechteckbalken kann durch Gleichsetzen der Bruchwahrscheinlichkeit bei Zugbelastung und reiner Biegung das Verhältnis zwischen Biege- und Zugfestigkeit berechnet werden:

$$\frac{\overline{\sigma_{bB}}}{\overline{\sigma_{zB}}} = \sqrt[m]{2(m+1)}.$$

Für $m = 10$ ist damit die Biegefestigkeit um den Faktor 1,36 höher als die Zugfestigkeit.
Für $m = \infty$ (d. h. keine Festigkeitsstreuung) ergibt sich als Grenzwert $\overline{\sigma_{bB}} = \overline{\sigma_{zB}}$, was der klassischen deterministischen Festigkeitslehre entspricht, die keinen Unterschied zwischen Biege- und Zugfestigkeit kennt. Besonders zur Behandlung komplizierter Lastfälle (Geometrie und Spannungsverteilung) ist nach *P. Nadler* [530] eine Transformation des Volumenintegrals zweckmäßig:

$$\frac{1}{V_0}\frac{1}{\sigma_0^m}\int \sigma^m(x,y,z)\,dx\,dy\,dz = \frac{V}{V_0}\left(\frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}\right)^m \int_0^1 f(z)\,z^m\,dz.$$

f(z) ist die sog. »Spannungsdichtefunktion«, die nur von der Körper- und Belastungsgeometrie abhängig ist und unabhängig von Werkstoffparametern bestimmt werden kann. σ_{max} ist der an einer Stelle im Körper auftretende Maximalwert der Beanspruchung.
Die Spannungsdichtefunktion für die 3-Punkt-Biegung des Balkens mit Kreisquerschnitt lautet

$$f(z) = \frac{2}{\pi}\left(\operatorname{arcosh}\frac{1}{z} - \sqrt{1-z^2}\right).$$

Nach der W.-Th. sind die erheblichen Unterschiede in der Festigkeit zwischen den Ergebnissen der für Werkstoffproben standardisierten Festigkeitsprüfungen und der Erzeugnisfestigkeit erklärt. Es ist danach weiterhin gesetzmäßig, daß der Festigkeitsabfall in der Werkstoffprobe gegenüber dem Erzeugnis durch den Parameter der Streuung bestimmt wird. So ergibt eine Vergleichsrechnung [94], daß ein Werkstoff mit einer mittleren Biegefestigkeit von 80 MPa und einem Streuparameter von $m = 20$ im Langstabilisator (Zugisolator $l = 120$ cm, $\varnothing = 75$ mm) eine höhere Erzeugnisfestigkeit erbringt als ein Werkstoff mit einer mittleren Biegefestigkeit von 120 MPa und einem Streuparameter $m = 10$.
s. Festigkeitsverhalten, statistisches

Weichporzellan – *ein Porzellan, bei dem der Feldspatgehalt bei 30 bis 55 Masse-% liegt,* was sich in einer besseren Transparenz, aber geringerer *TWB*, geringerer Härte und Schlagbiegefestigkeit sowie geringerer Standfestigkeit beim Brennen auswirkt; Glühbrand 800 bis 900 °C, Glattbrand ≈1280 bis 1300 °C. Durch den niedrigen Glattbrand können weitgehend farbige Unterglasurdekore angewendet werden. W. ist auch ein guter Träger für Kristall-, Lauf- und Reduktionsglasuren. Die W. werden fast ausschließlich für Ziergegenstände (Vasen, Figuren u. a.) verwendet und in verschiedenen Thüringer Betrieben hergestellt.

Weißenberg-Effekt – *auf das Wirken von Zugspannungen zurückgehender Effekt bei viskoelastischen Flüssigkeiten.* An einem in einer solchen Flüssigkeit rotierenden Stab beobachtet man ein Aufsteigen der Flüssigkeit längs des Stabes. Die Ursachen für dieses Verhalten liegen darin, daß die durch die Zugspannungen ausgelösten Kräfte die Flüssigkeit abschnüren und entgegen der Zentrifugalkraft nach innen drücken sowie entgegen der Schwerkraft nach oben. [52]
s. Viskoelastizität

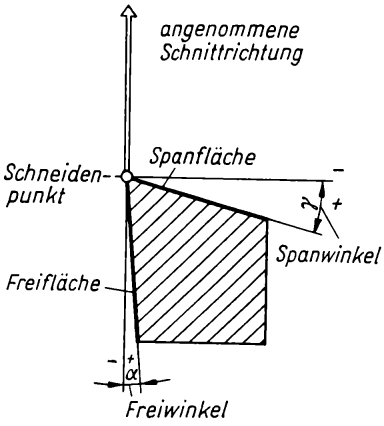
Weißformgebung – *Bearbeitungsverfahren an weißgetrockneten Rohlingen* bzw. isostatisch gepreßten Hubeln (<1% H_2O-Gehalt), bei dem fast ausschließlich spanabhebende Techniken zur Anwendung kommen, so z. B.

1) Profilschleifen

Es wird vorwiegend in der Großserienproduktion angewendet, z. B. zur Nachbearbeitung von Zündkerzen. Gearbeitet wird sowohl mit hochporösen Edelkorundscheiben als auch mit feinporösen Rubinkorundscheiben. Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt etwa 45 m s^{-1}. Für die Bearbeitung der Rohlinge sind Rohbruchfestigkeit und das Gefüge von entscheidender Bedeutung.

2) Abdrehverfahren mit Drehmeißel

Es wird angewendet bei Großkörpern, z. B. Langstäben. Bei dem verwendeten Schneidwerkzeug treten zwei wichtige Winkel auf: der Freiwinkel α, er wird von der Freifläche des Werkzeuges und der Schneidenebene begrenzt (s. Bild), und der Spanwinkel γ zwischen Spanfläche und der Bezugsebene. Der Winkel ist positiv, wenn zwischen beiden Flächen ein Zwischenraum auftritt. Der Winkel zwischen Freifläche und Spanfläche wird Keilwinkel β genannt; es gilt $\alpha + \beta + \gamma = 90°$.



Span- und Freiwinkel beim Drehmeißel

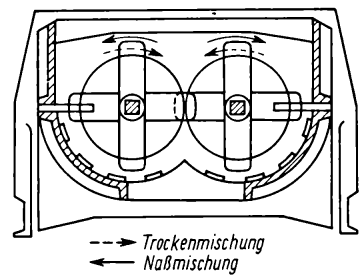
W. ermöglicht eine sehr exakte Maßhaltigkeit; es können Genauigkeiten von 1 µm erreicht werden. Die Oberflächenrauhigkeit wird durch den Vorschub bestimmt. Die Nachteile liegen in der relativ langen Bearbeitungsdauer der Hubel und dem Aufwand für die Entstaubung. [394]

Weißgrad – *ein Qualitätsmerkmal des Porzellans.* Er wird beeinflußt:
- vom Fe_2O_3-Gehalt bzw. TiO_2-Gehalt,
- von der Glasphase u. a.

Porzellan ist von Natur aus nicht rein weiß, sondern hat immer eine leichte Tönung ins Gelbliche oder Blaugraue. Der W. wird durch Vergleichsmessungen mit reinstem MgO-Pulver (=97,5%) im Leukometer oder auch im Pulfrich-Photometer (reiner Baryt = 96%) ermittelt. Hochwertige Porzellane haben einen W. von 60 bis 65%, z. T. sogar über 70%.

Weißware – Bezeichnung für das glasierte, glattgebrannte, noch nicht dekorierte Porzellan.

Wellenmischer – *mechanische Vorrichtung für die Zerkleinerung und Mischung von Ton und Rohschamotte mittels Flügelmessers o. ä.* Beim *Doppelwellenmischer** ist infolge der gegenläufigen Drehung der Wellen die Mischwirkung intensiver als beim Einwellenmischer. Die Mischtröge sind mit Stahlleisten und Gegenstrommessern versehen, um ein Mitdrehen der Masse zu verhindern. Bewässerung und Heißaufbereitung sind möglich (s. Bild).



Doppelwellenmischer

Welligkeit – *Gestaltabweichung* zweiter Ordnung einer realen Oberfläche, die sich in relativ großen Abständen wiederholt.*

Die Wellentiefe ist im Vergleich zur Wellenlänge klein. Die W. ist von der Oberflächenrauhigkeit* durch die Wellenlänge zu unterscheiden; ein Grenzwert kann jedoch im allgemeinen nicht angegeben werden. Die W. kann sowohl der Makro- als auch der Mikrogeometrie zugeordnet werden. Sie kann mit Geräten der Oberflächenrauhigkeitsmessung* und mit optischen Längenmeßmitteln erfaßt werden.

Im Bild 1 sind die Welligkeit und die Form eines Profils dargestellt. Dabei schneidet die mittlere Linie das ertastete Profil derart, daß sich die Flä-

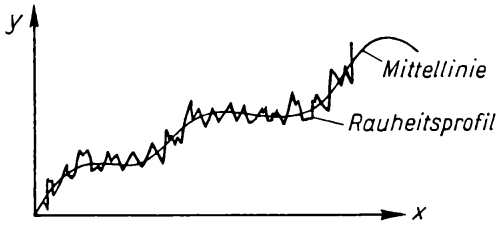


Bild 1. Welligkeit und Form

chen der Profilerhöhung und der Profilvertiefungen ausgleichen.
Im Bild 2 gibt das Welligkeitsprofil W die mittlere

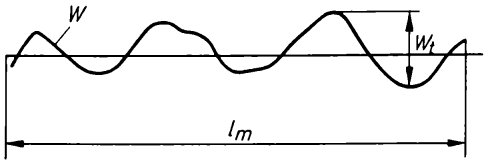


Bild 2. Welligkeitsprofil

Linie des ausgerichteten (gefilterten) Profils wieder. Die Wellentiefe W_t ist dann der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt des Welligkeitsprofils W innerhalb der Gesamtmeßstrecke l_m. (TGL 31 050, 1156, 638; DIN 4774, 4768)
s. Tastschnittgerät, Perthometer, Oberflächenrauhigkeitsmessung

Werkstoff, faserverstärkter – *ein Verbundsystem, bei dem in eine keramische Matrix (Sintertonerde, Mullit u. a.) Molybdän- und Wolframfasern u.a. eingelagert sind.* Diese Verbindung erbringt eine beachtliche Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Werkstoffe, wobei der Haftung und dem Ausdehnungsverhalten der Komponenten besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Eine besondere Art von f. W. stellt die von *Klanke* beschriebene Spannkeramik dar, bei der eine unter Spannung stehende Fasereinlage (Metalle oder Keramik) in die Matrix gebracht wird. Die Spannung wird durch einen großen thermischen AK der Faser bewirkt.

Werkstoffe, umwandlungsverstärkte keramische (Dispersionskeramik, Multiplexkeramik) – *Gruppe von Werkstoffen, die durch einen Verstärkungsmechanismus eine extreme Verbesserung der mechanischen Festigkeit und günstige Veränderung anderer Eigenschaften erfahren.* Der Verstärkungsmechanismus kann

- spannungsinduziert, d. h. während der mechanischen Beanspruchung eintreten,
- thermisch induziert als sog. Martensitumwandlung* (tetragonale-monokline Umwandlung) während der Abkühlung von der Herstellungstemperatur (also vor der Belastung) wirksam werden.

In eine keramische Grundmatrix (z. B. Al_2O_3, Mullit, Spinell u. a.) werden eine weitere Phase, die während der Sinterung* nicht oder nur sehr bedingt mit der Grundmatrix reagiert (z. B. ZrO_2, HfO_2, BN u. a.), und bestimmte Dotanden (z. B. Y_2O_3) eingebracht. Im gebrannten Stück liegen Eigenspannungen vor, die zu isolierten Mikrorissen führen (können); ein bei starker Belastung entstandener Makroriß muß erst diese Spannungen abbauen, ehe er zur kritischen Größe anwachsen kann. Der dabei wirksam werdende Verstärkungsmechanismus ist gegenwärtig noch nicht ausreichend geklärt. In der Literatur werden folgende Ursachen diskutiert:

- die Teilchengrößen von Grundmatrix und Einlagerungsphase, d. h. der Dispersitätsgrad und die gegenseitige Orientierung der Teilchen (Dispersionskeramik),
- ZrO_2 erfährt beim Abkühlen bei etwa 1 150 °C eine *t/m*-Umwandlung, die mit einer Volumenzunahme von 3 bis 5 % verbunden ist und die förderlichen Spannungen auslöst,
- Die ZrO_2-Teilchen sind von einer festen Matrix umgeben, die die *t/m*-Umwandlung bis zu tiefen Temperaturen verhindert, d. h., es liegen noch tetragonale Teilchen vor, die erst durch äußere mechanische Spannungen zur Umwandlung befähigt werden (Spannungsinduktion),
- Dotanden erlauben nur eine teilweise Umwandlung der Einlagerungsphasen und erzeugen ein Mikrorißgefüge unterschiedlicher Orientierung (sog. Multiplexkeramik),
- Eigenspannungen werden bereits im Hochtemperaturbereich formiert, durch das Sinterregime (Temperatur-Zeit-Atmosphäre) relaxiert und wirken wesentlich auf die Gefügeausbildung ein (Topologie*).

[399, 527, 528]

Whisker – *s.* Haarkristalle

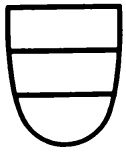
Widerlagerstein – Formstein für die seitliche Auflage von Gewölben.

Widerstände, keramische – *zusammenfassende Bezeichnung für die nach keramischer Techno-*

logie oder unter Verwendung keramischer Stufenprodukte hergestellten Widerstände. Im engeren Sinne zählt man zu den k. W.:
- glasierte Drahtwiderstände,
- Graphitschichtwiderstände mit alkalifreien Porzellantragkörpern und Graphit als Widerstandsschicht,
- SiC-Widerstände auf der Basis von SiC + Ton.

Im weiteren Sinne gehören hierher noch die nichtlinearen W. oder Halbleiter in Form von Thermistoren, Varistoren und Kaltleitern.

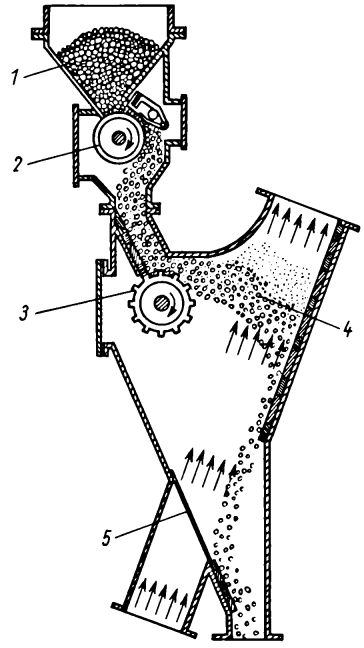
Wiener Porzellanmanufaktur – eine seit 1719 produzierende (von *Du Paquier* gegründete) Manufaktur, die 1744 staatlich wurde, gegen Ende des 18. Jh. eine erste Blütezeit erlebte (Erfindung des Uranschwarz, Dekore mit Glanzgold auf Mattgold) sowie eine weitere in den 20er Jahren des 19. Jh. 1863 wurde die Manufaktur stillgelegt. Vorbilder waren die ostasiatischen Porzellane und Metallgefäße. Später setzten sich die Rokokoformen durch, wobei ein starker Meißener Einfluß unverkennbar ist. Eine zunehmende Rolle spielten Dejeuners. Der plastische Schmuck verschwand allmählich, und die Malerei (v. a. in Purpur) nahm einen breiten Raum ein. Arbeiten von *Watteau, Lancret, Boucher* u. a. dienten als Vorlage. Auch die Antike wurde nachgeahmt. Das Wellington-Service stellt eine der letzten Spitzenleistungen dar. Die Vollplastiken, Tiere und Menschen sind schwerfällig gestaltet. Unter *Niedermeyer* (Mitte 18. Jh.) entstanden die besten Figuren, die vor allem verschiedene Gewerbe darstellen. Seit 1749 gab es die blaue Unterglasur-Fabrikmarke. 1922 wurde in Wien eine neue Porzellanfabrik gegründet.



Fabrikmarke Wien

Winderhitzer (Cowper-Anlage) – *Teil einer Hochofenanlage, in der die Verbrennungsluft (Wind) für Hochöfen auf Temperaturen von 600 bis 1 000 °C gebracht wird.* W. sind hohe zylindrische Stahlblechtürme, die mit Schamottesteinen ausgemauert sind. Sie bestehen aus Brennschacht, Kuppel und Gitterwerk. Die vom Hochofen kommenden Gichtgase werden im Schacht verbrannt. Die dabei entstehenden Gase steigen zur Kuppel hoch, werden umgelenkt und streichen durch das Gitterwerk, das dabei erhitzt wird. Nach dem Umschalten wird durch das Gitter Kaltluft gedrückt, die durch die gespeicherte Wärme aufgewärmt wird. Gewöhnlich gehören drei W. zu einem Hochofen. Je nach den in den einzelnen Abschnitten vorhandenen Temperaturen werden Schamottesteine geeigneter Qualität eingesetzt. An den Stellen höchster Temperatur (Kuppel, innerer Brennschacht) verwendet man meist mit Korund angereicherte Steinsorten.

Windsichter – *Aggregate zum Klassieren von trockenen Feststoffmengen mit Hilfe von Luftströmen, wobei die Fallgeschwindigkeit als Trennmerkmal genutzt wird.* Die Trennkorngrößen liegen bei den üblichen W. im Bereich von 5 bis 500 µm. W. können in *Schwerkraft-* und *Zentrifugalkraftsichter*, aber auch nach dem Charakter der Strömung, der Strömungsrichtung der Sichtluft oder nach der Art und Weise der Zufuhr des Sichtgutes unterteilt werden. Die wichtigsten Teile eines W. sind (s. Bild):



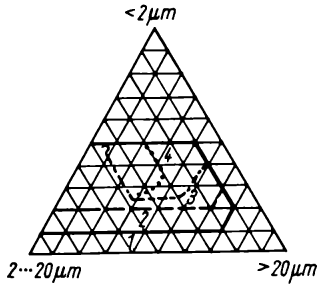
Aufstromsichter (Rapid-Sichter), Bauart Humboldt
1 Aufgabebunker
2 Dosierwalze
3 Streuwalze
4 Sichtraum
5 Siebboden

- die Aufgabevorrichtung, die das Sichtgut gleichmäßig desagglomeriert und gezielt zuführt,
- der Sichtraum,
- der Ventilator, der den Sichtluftstrom erzeugt,
- der Feingutabscheider.

In der keramischen Industrie werden W. zum Klassieren von Schamotte, Dolomit, Quarz, Feldspat u. a. eingesetzt.

Winkler-Korngrößendiagramm – eine von *Winkler* vorgeschlagene Unterteilung der Ziegelei-Rohstoffe in die drei Korngrößenfraktionen:
- <2 µm,
- 2 bis 20 µm,
- >20 µm

und Fixierung dieser Fraktionen als Eckprodukte eines gleichseitigen Dreiecks. Für die verschiedenen Ziegeleierzeugnisse existieren im Dreieck optimale Korngrößenbereiche (s. Bild).



Korngrößenzusammensetzung mit Feldern günstiger Verarbeitbarkeit (nach *Winkler*)
1 ———— Vollziegel
2 – – – – – Gitterziegel
3 –.–.–.–. Dachziegel
4 ..... dünnwandige Hohlware

Wirbelschichtverfahren – *zusammenfassende Bezeichnung für Verfahren zur Granulierung wäßriger Suspensionen und zum Reaktionssintern in der Wirbelschicht.*

Beim *Wirbelschichtgranulieren* wird mittels heißer Verbrennungsgase eine Wirbelschicht erzeugt, in die die wäßrige Suspension des zu granulierenden Materials eingedüst wird. Die Granalien wachsen durch Anlagerung und Trocknung der verdüsten Tröpfchen. Die Granulatkeime, die zum Anlagern der verdüsten Schlickerteilchen erforderlich sind, werden dem Prozeß kontinuierlich entweder durch Zuführung von außen oder durch innere Erzeugung (Abrieb) zugegeben. Das Granulat der vorgesehenen Korngröße wird ggf. gegen den klassierenden Gasstrom der Wirbelschicht entnommen (s. Bild 1 – Verfahrensschema).

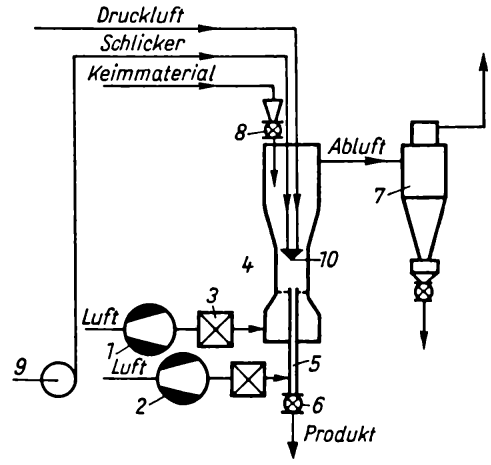


Bild 1. Verfahrensschema eines Wirbelschichtgranulators
1 Luftgebläse für Wirbelluft
2 Luftgebläse für Abzugsluft
3 Lufterhitzer
4 Wirbelschichtgranulator
5 Granulatabzugsrohr
6 Austragsschleuse
7 Zyklon
8 Kleinmaterialzugabe
9 Schlickerpumpe
10 Schlickerdüse

Ziel des *Reaktionssinterns* mit dem W. besteht im allgemeinen darin,
- die Festkörperreaktionen bis zur vorgegebenen Vollständigkeit ablaufen zu lassen,
- eine Verdichtung der Reaktionsprodukte vorzunehmen, um die Schwindung der Formlinge zu reduzieren,
- die Homogenität des Grundmaterials durch Diffusionen zu verbessern,
- einen Kristallbildungsgrad zu erreichen.

Der Aufbau eines Aggregates ist im Bild 2 dargestellt. Das Aufgabegut wird mittels eines gesteuerten Eintragssystems in den Vorwärmer gegeben; über eine Schleuse erfolgt die Überführung der Taktmenge nach Ablauf der vorgegebenen Taktzeit in den Reaktor. Aus der Hochtemperaturwirbelschicht wird schließlich das Gut über die Austragsschleuse aus dem Reaktor abgezogen. Durch diesen getakteten Arbeitsrhythmus erhält man Verweilzeiten, die die Reaktion im erforderlichen Maß ablaufen lassen. Bewährt hat sich dieses Verfahren besonders bei der Herstellung von Klinkern, Blähton, Hartferriten, Calcination von Al-

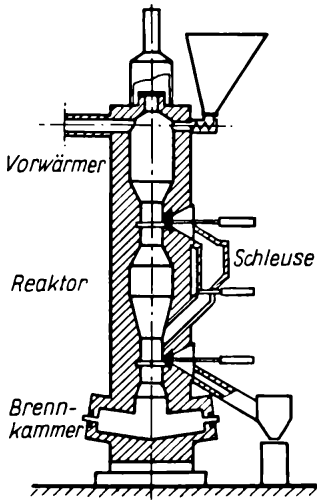


Bild 2. Aufbau des Wirbelschichtreaktors, Versuchsanlage

Hydroxiden, synthetischem Enstatit u. a. [369, 532, 534]

Wirbelstrombrenner – *Brennertyp, bei dem vor dem Brenneraustritt entweder dem Gas oder der Luft eine Drehbewegung aufgegeben wird,* meist aber beiden (so daß sie gegenläufig gerichtet sind). Die dadurch intensivere Vermischung von Gas und Luft bewirkt ein rascheres Ablaufen des Verbrennungsvorganges. Es bilden sich kurze, heiße Flammen.

Wirtsgitterfarbkörper – *eine Gruppe von keramischen Farbkörpern, bei denen während der Synthese färbende Ionen/Verbindungen in einen Wirtsgitterkristall* eingebaut bzw. flächenspezifisch angelagert werden.*

Das bekannteste Beispiel stellt das tetragonal kristallisierende Zirconiumsilicat $Zr[SiO_4]$ dar; als Mineral* weist es ein breites Spektrum von diadoch eingebauten Begleitelementen auf (s. Tabelle). Bei der künstlichen Darstellung als W. werden sowohl Elemente als auch Verbindungen eingebracht, wobei stabile Verbindungen entstehen: z. B. $(Zr,V)SiO_4$ = Vanadinblau; $(ZrPr)SiO_4$ = Praseodymgelb bzw. als Adsorptionsmischkristalle $Zr[SiO_4] \cdot Fe_2O_3$ u.a. [455]

s. Einschlußpigmente

Wirtsgitterkristalle – *Kristalle*, die während ihres Wachstums artfremde Substanzen mit in ihr Gitter aufnehmen bzw. artfremde Substanzen an ihren Keimen anlagern und mit neuen Eigenschaften weiterwachsen.* Man unterscheidet:

- Substitutionsmischkristalle, die einphasige Systeme darstellen (s. Mischkristalle, Überstrukturen),
- *Adsorptionsmischkristalle,* sog. anomale Mischkristalle, d. h. Mischsysteme, bei denen geringe Mengen einer Gastkomponente in einem Trägerkristall (Wirt) eingelagert werden. Dabei vollzieht sich ein Übergang von der reinen Adsorption* zur orientierten Einlagerung. Die flächenspezifische Adsorption wirkt dabei gleichsam als Initialprozeß. Beim Wachstum alternieren in rhythmischer Folge Wachsen des Wirtskristalls (Makrokomponente) und die orientierte Abscheidung des Fremdstoffes (Mikrokomponente). Adsorptionsmischkristalle stellen einen Übergang zu einem zweiphasigen System dar. Der Unterschied zwischen Adsorptionsmischkristall und Epitaxie* besteht darin, daß es sich bei ersteren um einen syngenetischen (zur gleichen Zeit) und im zweiten Falle um einen epigenetischen (später entstandenen) Verwachsungsprozeß handelt. [64]

Witherit ($BaCO_3$)

Kristallographie: orthorhombisch

Physikalische Eigenschaften: farblos bis gräulich, $H = 3{,}5$; $D = 4{,}2$ bis $4{,}4\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\alpha = 1{,}529$, $n_\beta = 1{,}676$, $n_\gamma = 1{,}677$, $\Delta n = -0{,}148$; $2V = 16°$

W. wird meist synthetisch aus Schwerspat hergestellt, dissoziiert bei etwa 1350 °C; Hauptlieferant des BaO in keramischen Massen.

Wobbezahl (*WZ*) – *Kennzahl für die Wärmeleistung von Gasen.* Sie wird definiert:

Zirkon-Wirtsgitterfarbkörper nach *Rotsche* [565]

Eingebaute Elemente	Farbe des Zirkons	Eingebaute Elemente	Farbe des Zirkons
V	Türkis	Pr, Mg	Orangerot
V, P	Hellviolett	Pr, Mo	Gelb
V, Mn	Seegrün	Nd	Hellpurpur
Cr	Grün	Tb	Gelb
Cr, Co, Ca	Dunkelviolett	Ce	Elfenbein
Mn	Grau, pinkrot	Ce, Pr	Gelborange
Co	Blaugrün	Ce, Pr, Mg	Orangerot
Ni	Gelbgrün	Ce, Nd	Blauviolett
Ni, Co	Grau	Ce, Tb	Gelb
Cu	Türkis	Ce, Dy	Gelb
Pr	Gelb	Ce, Er	Pinkrot

$$WZ = \frac{\text{Verbrennungswärme}}{\sqrt{\text{Gasdichte/Luftdichte}}} = \frac{H}{\sqrt{D_G/D_L}}.$$

Die *WZ* wird dimensionslos angegeben. Man unterscheidet noch eine obere *WZ*, wenn man in die Formel H_o = Verbrennungswärme (früher oberer Heizwert), und eine untere *WZ*, wenn man H_u = Heizwert (früher unterer Heizwert) einsetzt. Die *WZ* eignet sich zur Kontrolle der Gasqualität und ist ein Maß für die Heizleistung von Brennern, deren Luftbedarf, die Flammenlänge und die Grenze der vollkommenen Verbrennung. (Bei gleicher *WZ* und gleichem Druck ist die aus einer Düse ausströmende Wärmemenge konstant.) Die *WZ* wird oft dem Heizwert vorgezogen, da man den Luftbedarf proportional der *WZ* am Brenner einstellen kann. Die *WZ* läßt sich als Funktion des Heizwertes und des Dichteverhältnisses Gas/Luft ausdrücken. Die nebenstehende Tabelle gibt Daten für die obere WZ an.

Die Messung der *WZ* erfolgt mit dem Präzisionswobbezahlgeber, einem dem Durchflußkalorimeter ähnlichen Gerät. Statt des Verhältnisses $\dot{M}/\dot{V}$ (Durchfluß des Wassers zu Durchfluß des Gases) wird das Produkt dieses Verhältnisses mit $1/\sqrt{D_G/D_L}$ konstant gehalten. Mit der gemessenen Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ erhält man dann eine der Verbrennungswärme entsprechende obere *WZ* aus

$$WZ = C\,\frac{\dot{M}}{\sqrt{D_G/D_L}},$$

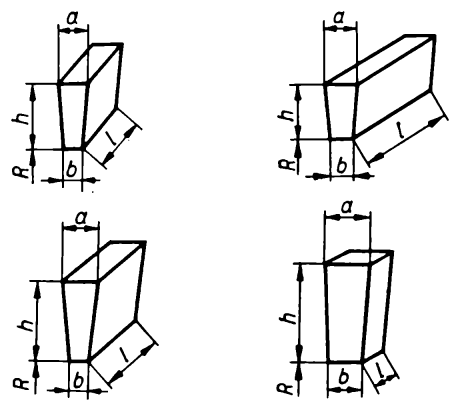
wobei C einen konstanten Faktor darstellt, der den Wärmeaustausch mit der Raumtemperatur berücksichtigt. *WZ* einiger technischer Gase (nach *Senkara*) siehe Tabelle unten.

Für wasserstoffhaltige Gase ist die *WZ* beträchtlich höher als der betreffende Heizwert; dies gilt auch in geringerem Maße für methanhaltige Gase. [20, 22, 23]

Gasart	Verbrennungswärme in kJ m^{-3}	Heizwert in kJ m^{-3}	Obere *WZ*
Generatorgas	3310	3260	3470
Wassergas	11160	10120	15040
Koksofengas	19000	16950	30410
Erdgas	31200	35120	42020

Wölber (Wölbsteine) – *Formsteine feuerfester Erzeugnisse für die Zustellung* von Gewölben, Bögen oder Decken von Feuerräumen.*

Die Massezusammensetzung der W. (basisch, neutral oder sauer) richtet sich nach den Anforderungen ihres Einsatzes. Allgemeine Forderungen beziehen sich auf gleichmäßige Dehnung, Volumenbeständigkeit und Resistenz gegen chemischen Angriff. Die Geometrie der W. wird bestimmt durch die Konstruktion des zuzustellenden Gewölbes. Im wesentlichen unterscheidet man: Ganz-, Doppelganz-, Halb- und Querwölber (s. Bilder). [547]



Dichteverhältnis D_G/D_L	Verbrennungswärme H_o in kJ m^{-3}				
	10000	12500	15000	17500	20000
0,4	17000	19800	23000	28200	32800
0,5	16150	17800	21500	24800	29000
0,6	12840	15700	19000	22400	26500
0,7	12000	14500	17400	20700	24400
0,8	10750	12000	16150	19450	22800

s. Stahlbeton, hitzebeständiger, monolithische Zustellung

Wolfram – *weißes, glänzendes Schwermetall.*
Physikalische Eigenschaften: $D = 19{,}1\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$; $T_S \approx 3\,400\ ^\circ\mathrm{C}$; $\varkappa = 20 \cdot 10^4\ \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$
Chemische Eigenschaften: an Luft beständig; bei Erwärmung Übergang in WO_3
Verwendung: Heizleiter im Vakuum bzw. in reduzierender Atmosphäre.

Wüstit – *s.* Eisenoxid

X, Y

xenomorph (allotriomorph; griech.: xenos = fremd, allotria = Fremdes) – *fremdgestaltig* in dem Sinne, daß diese Kristalle wegen ihrer geringen Kristallisationskraft beim Bildungsvorgang den zur Verfügung stehenden Raum ausfüllen und nicht die ihrer Elementarzelle entsprechende äußere Kristallform zeigen.

Xerogel (griech.: xeros = trocken) – *durch Trocknen (auch an feuchter Luft) und Schrumpfung gebildete feste Gele*.*
Soweit X. anorganischer Natur sind (z. B. Kieselxerogele), können sie nicht wieder in den mit Flüssigkeit gefüllten Zustand zurückgeführt werden.
s. Synärese, Kolloide

Xylol (Dimethylbenzol) – *Lösungsmittel* für Öle, Kunstharze, Celluloseester u. a., Reinigungsmittel für Objektträger und Objektive in der Mikroskopie, Verdünnungsmittel für Lacke. Es existieren drei Strukturisomere von der allgemeinen Formel $C_6H_4(CH_3)_2$.

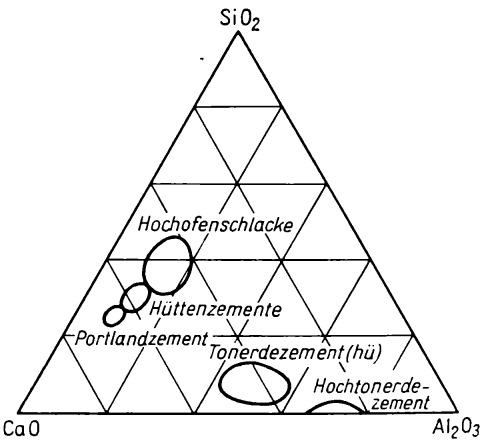
Yao – chinesische Bezeichnung für Porzellan. Yao bedeutet *»Gebranntes«*; Bezeichnung ursprünglich auch für Töpferware.

***Young*scher Modul** – *s.* Elastizitätskonstante

Yttriumoxid (Y_2O_3) – farblose bis gelbliche kubische Kristalle ($D = 5{,}04\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$) oder weißes Pulver ($D = 4{,}84\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$) mit einem Schmelzpunkt von 2 410 °C.
Y. wird durch Aufschluß von Yttriummineralen (Yttrotantalit, Yttrotitanit u. a.) und ein sich anschließendes Ionenaustauschverfahren durch Glühen des gefällten Oxalats erhalten. In der Keramik wird Y. als vielseitiger Dotand eingesetzt.
Es ist gelungen, aus Y. durch Zusätze von ThO_2 und La_2O_3 eine transparente Keramik von theoretischer Dichte herzustellen. Einer breiten Verwendung steht jedoch ihr hoher Preis entgegen.

Z

Zemente – *in Drehrohröfen gesinterte, feingemahlene hydraulische Bindemittel,* die im wesentlichen aus Verbindungen des CaO mit SiO_2, Al_2O_3 und Fe_2O_3 bestehen (s. Bild). Ihre Eigenschaften sind in Normen festgelegt.



System $CaO-Al_2O_3-SiO_2$

Hydraulische Bindemittel sind künstlich erzeugte, kristalline Verbindungen bzw. glasige Substanzen, die mit Zuschlagstoffen und Wasser vermischt den sog. Mörtel* liefern, der nach einer bestimmten Zeit unter Bindung von Wasser erstarrt und der sich dann unter fortschreitender Erhärtung in einen steinartigen, in Wasser unlöslichen und gegen den Angriff des Wassers beständigen Körper verwandelt (*H. Kühl*). Nach einer Erhärtung von 28 Tagen müssen Z. eine Mindestdruckfestigkeit von 22,5 MPa erreichen.

Die hydraulische Erhärtung geht sowohl an Luft als auch unter Wasser vor sich. Der Begriff »hydraulisch« beinhaltet also die Eigenschaft eines Bindemittels, Wasser zu binden, unter Wasser zu erhärten und wasserfest zu sein. Die wichtigsten Vertreter der Z., die in der Keramik zur Verwendung kommen, sind: Portlandzement*, Tonerdezement* und Tonerdeschmelzzement*. [305]

Zementquarzit – *s.* Quarzit

Zentralwert

1) Kornscheide x_{50}, d. h. der Schnittpunkt von Durchgangskennlinie und Rückstandskennlinie in einer Korngrößenverteilungsfunktion (s. Korngrößenverteilung).

2) Merkmalswert, für den eine Verteilungsfunktion den Zahlenwert 0,5 hat; er wird in diesem Zusammenhang auch Halbwertsgröße genannt. Der Merkmalswert ist für die Normalverteilung ein kennzeichnender Parameter.

3) Der Z. ist für ungerades n der mittelste Wert einer Stichprobe, wenn man die Stichprobenwerte der Größe nach geordnet aufschreibt. Für gerades n ist der Z. das arithmetische Mittel der beiden in der Mitte der geordneten Stichprobe liegenden Werte.

Zentren, aktive – *energetisch ausgezeichnete Stellen auf der Oberfläche fester Körper bzw. Katalysatoren,* die sich durch erhöhte katalytische Aktivität äußern.

Als a. Z. können alle Störungen im regelmäßigen Bau einer Oberfläche (Korngrenzen, Kristallkanten, Oberflächenlücken, Adatome, Durchstoßpunkte von Versetzungen* u. a.) wirken. Aufgrund nicht völlig abgesättigter Bindungskräfte kommt es über reversible Adsorptionen* und Chemisorptionen zu kovalent gebundenen aktivierten Zwischenzuständen. Die daraus resultierende Strukturveränderung und/oder Lockerung der Bindung im sorbierten Molekül bewirkt eine Aktivierung, die zur chemischen Reaktion führt. [64, 238]

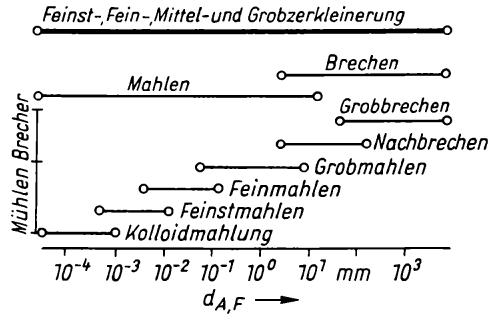
Zeolithe – *eine Gruppe wasserhaltiger Minerale mit der allgemeinen Formel* $(M^{2+}M_2^{+})O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$, *wobei n und m variieren können.* M^{2+} und M^{+} sind zwei- bzw. einwertige Kationen (Ca, Sr, Ba, Na, K). Z. können ihr Wasser beim Erhitzen abgeben, ohne daß das Gitter zusammenbricht, ebenso können danach Wasser oder Gase (Molekularsieb) wieder eingebaut werden. Außerdem können die Kationen ausgetauscht werden, z. B. Enthärtung des Wassers.

Zerkleinern – *Zerlegen von Feststoffteilen in solche kleinerer Abmessungen.* Zweck des Z. ist es, Stoffe und/oder Stoffmengen von einer bestimmten Aufgabegröße unter Ausnutzung mechanisch aufgewendeter Deformationsarbeit in die für die Aufbereitung der Masse erforderliche Feinheit zu überführen.

Wird von einer Abstufung der Korngrößen des Aufgabegutes d_A ausgegangen, so kann etwa folgende (nicht ganz willkürfreie) Unterteilung vorgenommen werden:

- Grobzerkleinern $d_A > 100$ mm,
- Mittelzerkleinern d_A 100 bis 5 mm,
- Feinzerkleinern d_A 5 bis 0,1 mm,
- Feinstzerkleinern $d_A < 0{,}1$ mm

(s. auch Bild – Zerkleinerungsbereiche nach *Höffl*).



Feinst-, Fein-, Mittel- und Grobzerkleinerungsbereiche

Zerkleinerungsarbeit – *auf die Einheit der während des Zerkleinerungsvorganges neu gebildeten Oberfläche bezogene Arbeit.* Man unterscheidet:

1) physikalische Z. – die für einen einmaligen Bruchvorgang aufgewendete Formänderungs- und Reibungsarbeit sowie die zur Zunahme der Oberflächenenergie zugeführte Arbeit (meist unbekannt),

2) technische Z. (W_{ges}) – sie setzt sich in einer Zerkleinerungsmaschine zusammen aus

$$W_{ges} = W_A + W_{VZ} + W_{VM}$$

W_A Grenzflächenenergie zum Trennen der Elementarteilchen

W_{VZ} zerkleinerungstechnische Verlustarbeit

W_{VM} maschinentechnische Arbeitsverluste.

Es ist davon auszugehen, daß $W_{VZ} \gg W_A$ ist.

Eine quantitative Abschätzung von W_{VZ} ist nicht möglich; bei einer qualitativen Bewertung ist im Arbeitsraum einer Zerkleinerungsmaschine etwa

mit folgenden Verlusten zu rechnen (nach *Höffl*):
- Deformation der Teilchen an den Arbeitsflächen und in der Kornpackung,
- innere Reibung beanspruchter Körnerkollektive,
- kinetische Energie der Bruchstücke,
- Reibung der Teilchen untereinander, einschließlich der Reibung an den neu erzeugten Bruch- und Arbeitsflächen,
- Verschleiß an den Arbeitsflächen der Arbeitsorgane.

Bezieht man nach obiger Gleichung die technische Z. auf die ideale bzw. theoretische Grenzflächenenergie, so kann der technische Wirkungsgrad der Z. als $\eta_Z = W_A/W_{ges}$ definiert werden; η_Z liegt stets unter 1 %.

Zerkleinerungsgrad – *Verhältniswert zur Kennzeichnung der erreichten Zerkleinerung.*
Die durch einen Zerkleinerungsprozeß vollzogenen Veränderungen eines Aufgabegutes werden gewöhnlich durch den granulometrischen Zustand der Charge vor und nach der Zerkleinerung beurteilt, sofern nicht auf Erreichung besonderer Effekte, wie mechanische Aktivierung, hingearbeitet wird. Gebräuchliche Festlegungen des Z. sind:
- das Verhältnis der mengenbezogenen Oberflächen vor (*1*) und nach (*2*) der Zerkleinerung:

$$n_Z = \frac{(A_m)_2}{(A_m)_1} = \frac{(A_V)_2}{(A_V)_1}$$

A_m massebezogene Oberfläche
A_V volumenbezogene Oberfläche,

- das Verhältnis der Zentralwerte* vor (*1*) und nach (*2*) der Zerkleinerung:

$$n_{50} = \frac{(x_{50})_2}{(x_{50})_1}$$

bzw. auch andere Mittelwerte oder integrale Kennwerte.

Bei Zerkleinerungsmaschinen wird der Begriff Z. oft maschinenspezifisch verwendet, z. B. bei Brechern gilt als Z. das Verhältnis von Maulweite zu Spaltweite, d.h., man verzichtet auf eine Teilchengrößenbestimmung.

Zerstäuben – *feines Zerteilen von Flüssigkeit durch Versprühen.* Durch die erheblich vergrößerte Oberfläche kommt es zu beschleunigten Wechselwirkungen zwischen zerstäubter Phase und umgebender Gasphase. Z. ist möglich:
- auf mechanischem Wege durch Druckluftzerstäuber, Fliehkraftzerstäuber,
- auf elektrostatischem Wege durch Anlegen eines hohen elektrischen Potentials zwischen Düse und Gegenelektrode (zu besprühendes Gut).

Zerstäuben durch Ionenbeschuß – *s.* Sputtern

Zerstäubungstrocknen – *s.* Sprühtrocknung

Zeta-Potential (elektrokinetisches Potential, ζ) – *Teil der Potentialdifferenz in einer elektrischen Doppelschicht**, die zwischen Lösung und der Gleitfläche besteht, d. h. die (unscharfe) Grenze von haftender und beweglicher Hydrathülle.
Man faßt üblicherweise die elektrische Doppelschicht als Kondensator auf. Weiterhin nimmt man an, daß die Gegenionen sich im Abstand l von den potentialbestimmenden festhaftenden Ionen aufhalten. Je Oberflächeneinheit wirkt auf den Kristall/Korn eine beschleunigende Kraft σE (E elektrische Feldstärke) und unter der Annahme einer laminaren Strömung eine Widerstandskraft $\eta\, u_r/l$ (u_r Relativgeschwindigkeit). So gilt für den stationären Fall

$$\eta u_r/l = \sigma E.$$

Setzt man für den Kondensator $l = \sigma/\zeta$, so erhält man nach Substitution von σ:

$$\zeta = u_r\, \eta/\varepsilon_0\, \varepsilon_r\, E$$

ε_0 absolute *DK*
ε_r relative *DK*
η Viskosität.

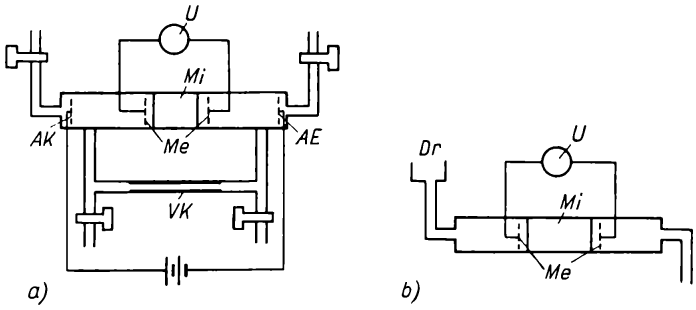
Mit Hilfe dieser Gleichung läßt sich ζ, wie im Bild (nach *Ney*) S. 531 oben zu sehen, bestimmen. [15]

Zickzackofen – *Brennofen, der vorwiegend zum Brennen von Ziegeln* eingesetzt wird.* Gegenüber dem Ringofen* zeichnet er sich durch einige Vorzüge aus:
- benötigt weniger Bodenfläche, da die Mauern zwischen den Kammern nur schwach ausgeführt werden können,
- wegen der kleineren Außenwandflächen auch weniger Abstrahlverluste.

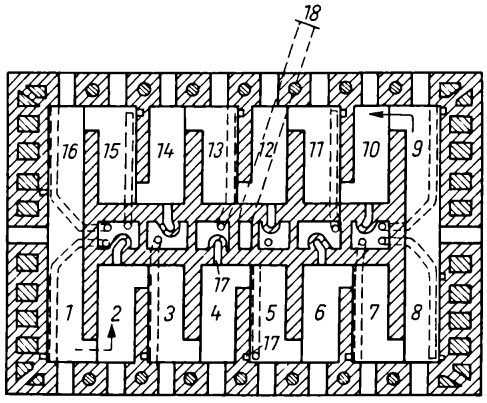
(s. Bild S. 531 Mitte)

Ziegel – *s.* Mauerziegel

Ziegelton – ein Ton, der infolge seines höheren Gehaltes an Flußmitteln (Alkalien, Kalk,



Anordnung zur Messung von Zeta-Potentialen, schematisch
a) Elektroosmose
b) Strömungspotential
Mi Mineraldiaphragma (Kornschüttung)
AE Arbeitselektroden
Me Meßelektroden
Dr Druckerzeugung, -messung
VK Vergleichskapillare
U Spannungsmessung



Grundriß eines Zickzackofens
1 bis *16* Kammern
17 Rauchgasabzug
18 Abzugskanal zum Schornstein

Eisenverbindungen) seinen Erweichungspunkt bereits zwischen 1000 und 1150 °C hat und nicht feuerfest ist.
s. Brennfarbe, Lehm, Letten

Ziegelwaren – *zusammenfassende Bezeichnung für Mauersteine und Deckensteine aller Art (Verblender, Dachziegel), Dränrohre, Bauterrakotten.* Charakteristisch ist der farbige, poröse Scherben, der unter oder um 1000 °C gebrannt wird. Ein häufig verwendetes Brennaggregat bei der Herstellung von Z. ist der Zickzackofen.

Ziehen – ein mancherorts üblicher Ausdruck für das Strangpressen.

Ziehprobe (Becherprobe) – *das während des Brandes aus dem Ofen entnommene Probestück, dessen Aussehen Rückschlüsse auf den Brennverlauf und Brennzustand gestattet.* Die Z. ist besonders wichtig, wenn Wert auf genaue Farbtöne und einwandfreies Ausschmelzen der Glasur gelegt wird.

Zierporzellan – Sammelbezeichnung für Figuren, Vasen, Schalen, Zierteller, Zierdosen, Leuchter, Broschen, Blumenkörbe, Medaillons u. a.
s. Weichporzellan

Zinkoxid (ZnO) – *farblose, hexagonale Kristalle* (in Hitze gelbes Pulver). Die physikalischen Eigenschaften ($D = 5{,}78$ g cm^{-3}) sind stark von den Herstellungsverfahren abhängig (Gitterstörungen). Z. verleiht der Glasur Schmelzbarkeit und Glanz, d. h., es hat Flußmittelwirkung. Z. erhöht die Zug- und Druckfestigkeit und senkt den Ausdehnungskoeffizienten der Glasur. Zinkhaltige farbige Glasuren werden oxydierend gebrannt. Z. fördert die Kristallbildung (Kristallglasuren).
Ein Zusatz von etwa 5 % in Laufglasuren begünstigt das Schlierigwerden und das Auftreten blauroter Farbtöne. Größere Mengen Z. in titansäurehaltigen Glasuren führen zur Ausscheidung nadelförmiger Kristalle.
s. Varistoren

Zinnglasur – *mit Zinnoxid SnO_2 versetztes Glasurgemisch.* Es werden etwa 6 bis 10 % des Versatzes benötigt, um die Glasur undurchsichtig (opak) zu machen, damit Scherben mit unansehnlicher Brennfarbe verdeckt werden können. Z. finden Anwendung als Fayence- und Schmelzglasuren.
s. Fayence, Delft, Äscher

Zinn(IV)-oxid (SnO_2) – *weißes Pulver oder farblose Kristalle,* die in Wasser unlöslich, in Säuren und Alkalilaugen kaum löslich sind.
Physikalische Eigenschaften: $D = 6{,}8$ bis $7{,}0$ g cm^{-3}; $T_S > 1900$ °C (unter Druck), Kristallisationspunkt zwischen 1800 und 1900 °C
Verwendung: zur Herstellung weißer Glasuren und Emails, da die Verbindung Glasflüsse milchig weiß trübt und selbst chemisch sowie thermisch sehr widerstandsfähig ist (Weißgehalt max. bei

einer Korngröße von 0,2 µm und einem Anteil von 10 Masse-%).

Die Trübung beruht auf mechanisch eingelagerten SnO_2-Flocken, ausgeschiedenen festen Teilchen im Glasfluß. Zu hohe Brenntemperaturen vermindern die Trübung. Z. macht die Glasur zähflüssiger und schwerer schmelzbar. Färbungen ergeben sich mit:

Chromrot und Kalk	zu Pink und Dunkelrotbraun,
Vanadiumverbindungen	zu Gelb,
Goldchlorid	zu Goldpurpur,
5 bis 8 % chromsaures Z.	zu Rosa.

s. Cassiterit

Zinnwaldit ($KLiFe^{2+}Al[(F, OH)_2/AlSi_3O_{10}]$) – Li_2O-Gehalt bis 5 %, FeO-Gehalt bis 12,5 %.

Kristallographie: Schichtsilicat; monoklin

Physikalische Eigenschaften: $H = 2$ bis 3; $D = 2{,}9$ bis 3,2 g cm^{-3}; bei Verwitterung Umwandlung in kaolinartiges Produkt, das durch Eisenhydroxide intensiv gelbbraun gefärbt wird.

[8]

Zirconium(IV)-oxid (Zirkonerde, ZrO_2) – *kommt natürlich als Mineral Baddeleyit* vor.* Wegen der für keramische Zwecke erforderlichen Reinheit wird Z. jedoch meist aus zirkonhaltigen Mineralen gewonnen (s. Bild 1).

Z. tritt in 3 Modifikationen* auf:

- bei Normaldruck und Temperaturen unter 1 170 °C liegt Baddeleyit oder β-ZrO_2 monoklin-prismatisch vor mit den Gitterkonstanten $a_o = 0{,}517$ nm, $b_o = 0{,}523$ nm und $c_o = 0{,}534$ nm; $n = 2{,}16$; $D = 4{,}9$ bis 5,4 g cm^{-3}; $H = 7{,}5$,
- oberhalb 1 170 °C wandelt sich Z. reversibel (jedoch mit beachtlicher Hysterese) in die tetragonale α-Form mit deformierter Fluoritstruktur* um, verbunden mit einem Volumensprung von 5 bis 9 %; $a_o = 0{,}508$ nm, $c_o = 0{,}512$ nm, um schließlich
- oberhalb 2 280 °C in eine kubische Form überzugehen. Die kubische Form kann durch Zusätze von CaO, MgO, Y_2O_3 und CeO_2 stabilisiert werden; zu einer Vollstabilisierung sind z. B. 15 Mol-% CaO erforderlich. Diese Stabilisierung läßt sich bei Sinterungen bereits etwa bei 1 700 °C erreichen. Das dabei erhaltene Gitter (s. Bild 2) weist Anionenleerstellen auf und wird damit zum Festelektrolyt* als Sauerstoffsonde.

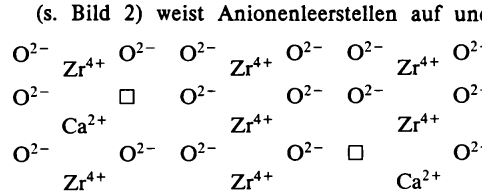


Bild 2. Struktur des CaO-stabilisierten ZrO_2
□ Leerstellen

Der Schmelzpunkt des Z. liegt bei 2 710 °C.

Z. weist ein breites Spektrum von Einsatzmöglichkeiten auf, so daß im Sprachgebrauch folgende Abkürzungen üblich sind:

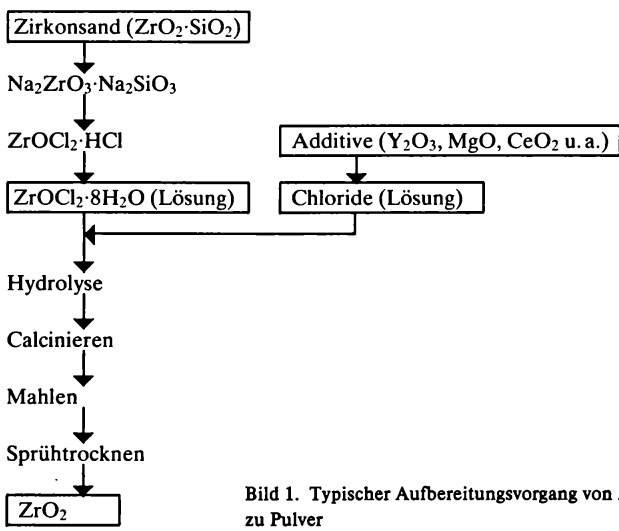


Bild 1. Typischer Aufbereitungsvorgang von Zirkonsand zu Pulver

TTC umwandlungsverstärkte Keramiken (hierzu gehören z. B. ZrO_2, Mullit, Al_2O_3 usw.)
PSZ teilweise stabilisiertes ZrO_2
FSZ völlig stabilisiertes ZrO_2
TTZ umwandlungsverstärktes ZrO_2
TZP tetragonal polykristallines ZrO_2
ZTA zirkonverstärktes Al_2O_3 (mittels Y_2O_3/ZrO_2)
DTA dispersionsverstärktes Al_2O_3 (Zusatz von instabilem ZrO_2 o. ä.).

Traditionell hat sich Z. als Feuerfestwerkstoff bewährt, besonders im Stahlgießbereich (Tiegel, Schutzrohre für Tauchthermoelemente u. a.).

In neuerer Zeit ist es gelungen, Fasern aus Z. herzustellen, die besonders die Betriebstemperaturen von Hochtemperaturreaktoren zu erhöhen ermöglichen. Weiterhin hat die Teilstabilisierung des Z. (etwa 3 bis 5% Stabilisatoren) an Bedeutung gewonnen. Hier liegen im kubischen Gitter bei Raumtemperatur monokline Teilchen mit vor, die während des Abkühlvorganges in die volumenreichere Form »übergesprungen« sind und so eine Vorspannung im Gefüge erzeugen. Auf diese Weise gelingt es, einer keramischen Matrix günstige *TWB*-Werte »aufzuzwingen« und die Sprödigkeit keramischer Werkstoffe zu verbessern. Sehr vorteilhaft ist dabei die enge Streuung der Festigkeitswerte; der *Weibull*-Modul *m* liegt damit deutlich oberhalb 20. [540, 541]

s. Werkstoffe, umwandlungsverstärkte, Martensitumwandlung, Zirkonfarbkörper, *Weibull*-Theorie

Zirkon – *ein gesteinsbildendes, seltenes Mineral* (chemisch Zirconiumsilicat $ZrSiO_4$)

Kristallographie: tetragonal; muscheliger Bruch

Physikalische Eigenschaften: durchsichtig bis undurchsichtig; farblos oder gelbbraun, bräunlichrot, blau, grün, schwarz; fettiger Diamantglanz; $H = 7{,}5$; $D = 4{,}5$ bis $4{,}7\ g\ cm^{-3}$; *o. D.:* $n_\varepsilon = 1{,}968$, $1{,}984$, $n_\omega = 1{,}923$, $1{,}925$, $\Delta n = +0{,}045$, $+0{,}059$, oft anomal zweiachsig. Außerdem wird isotropisierter Z. gefunden mit $n = 1{,}95$, $1{,}72$ bis $1{,}84$.

Z. kommt meist als mikroskopischer Einsprengling in vielen magmatischen Gesteinen, Graniten, Syeniten, im Gneis, in Erguß- und Ganggesteinen u. a. vor.

Verwendung: in der Keramik als Trübungsmittel, zu stabilisierten Farben, für ff. Werkstoffe, als Zusatz für chemisches und Elektroporzellan.

Zirkonsteine sind bis über 1700 °C einsetzbar und werden z. B. als Wannensteine bei der Erzeugung saurer Gläser verwendet.

Zirkon-Cristobalit-Steine – *auf der Basis von Zirconiumsilicat bzw. Zirconium-IV-oxid und Kieselgur*/Kieselglas* und geringem Zusatz von $Ca(OH)_2$ im Trockenpreßverfahren hergestellte Steine* bzw. auch als Stampf-Flick-Gemische gelieferte Reparaturmassen.

Z.-C.-St. werden im ungesinterten Zustand eingesetzt, die Umwandlung in Cristobalit erfolgt während des Einsatzes.

Der SiO_2-Anteil bewegt sich von 35 bis 50%, der ZrO_2-Anteil von etwa 45 bis 65%, die Rohdichte liegt bei etwa $3{,}65\ g\ cm^{-3}$, die Druckfeuerbeständigkeit $T_{0,6}$ bei 1700 °C, die Wärmeleitfähigkeit bei 1400 °C bei $2{,}9\ W\ (m\ K)^{-1}$. Zirkon-Cristobalit-Erzeugnisse werden u. a. auch als Feedermaterial für Borsilicatgläser herangezogen. [168]

Zirkonfarbkörper – *eine Gruppe keramischer Farbkörper, die ihrer Struktur nach zu den Wirtsgitterfarbkörpern* zählen* und sich durch hohe Stabilität gegenüber den lösenden Einflüssen der Glasur bis etwa 1400 °C auszeichnen.

Bei den Z. handelt es sich um Adsorptionsmischkristalle, bei denen durch Zusätze, wie V_2O_5, Pr_2O_3, SiO_2 u.a., die monokline Form des ZrO_2 stabilisiert wird.

Zu den Z. gehören Zirkonvanadiumoxidgelb, -grün und -blau u. a. Sie sind untereinander mischbar, ergeben verschiedene Farbnuancen und sind auch als Unterglasurfarben geeignet.

Zirkon-Korund-Steine – *auf der Basis von Schmelzkorund, Tabulartonerde* und Zirconiumsilicat* im keramischen Schlickergießverfahren hergestellte Formsteine.*

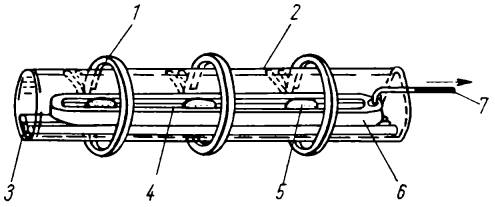
Z. weisen einen Al_2O_3-Anteil von 70 bis 90%, einen SiO_2-Anteil von 9 bis 13% und einen ZrO_2-Anteil von 10 bis 15% auf.

Physikalische Eigenschaften: $\varrho_R = 2{,}75$ bis $2{,}90\ g\ cm^{-3}$; *DFB:* $T_{0,6} = 1700$ °C; Wärmedehnung bei 1500 °C 1,10 bis 1,20%.

Z. zeichnen sich durch hohe Resistenz im Glaskontakt aus; sie werden eingesetzt im Glaswannenbau, als Brennersteine, zur Herstellung von Feedern (Speisern) und als Dannerrohre für den Glasrohrzug.

Zonenschmelzen – *ein Verfahren zur Raffination (Hochreinigen) von Metallen (besonders elementarer Halbleiter wie Ge, Si), anorganischer und organischer Verbindungen.* Das Prinzip der Reinigung

besteht darin, daß ein sich formierendes Kristallgitter beim Erstarren einer Schmelze bestrebt ist, keine Fremdatome einzubauen. In dem zu reinigenden Material, das zweckmäßig in Stabform vorliegt, wird eine schmale Zone aufgeschmolzen, die infolge der Relativbewegung der Heizeinrichtung durch den Stab hindurchwandert. Auf diese Weise reichern sich die Verunreinigungen am Ende des Stabes an. Um während des Schmelzvorganges Reaktionen mit der Luft zu vermeiden, läuft der Prozeß unter Vakuum oder Schutzgas ab; die Erwärmung erfolgt durch Widerstandsheizung oder bei hochschmelzenden Metallen durch Elektronenbeschuß (s. Bild).



Schema einer Zonenschmelzapparatur mit bewegtem Tiegel

1 Hochfrequenzspulen
2 Quarzrohr
3 Quarzstäbe, auf denen das Schiffchen gleitet
4 festes Material
5 schmelzflüssiges Material
6 Schiffchen
7 zum Bewegungsmechanismus

Zugfestigkeit

1) Allgemein – durch Kohäsion bedingter Widerstand gegen eine Zugkraft.

Ehe es zum Bruch kommt, erfährt der Körper infolge der aufgezwungenen Spannung eine gleichmäßige Dehnung und eine Querschnittsverminderung (s. Bild 1). Elastische Stoffe (Kurve *1*)

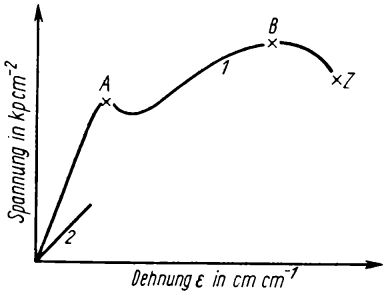


Bild 1. Zerreißbild
1 weichgeglühter Stahl
2 spröder Körper

dehnen sich bis zum Punkt *A* im wesentlichen reversibel, von Punkt *A* bis *B* irreversibel (plastisch). Nach Überschreiten des Punktes *B* nimmt nicht mehr der ganze Prüfkörper an der Verformung teil, sondern er schnürt sich an Stellen ein, die Inhomogenitäten aufweisen. Die eigentliche Zerreißspannung im Punkt *Z* ist technisch uninteressant. Spröde Stoffe zerreißen bereits vor Erreichen der sog. Elastizitätsgrenze, z. B. Steatit (Kurve *2*).

2) Die Zugfestigkeit keramischer Körper ermittelt man an sog. Achterkörpern (s. Bild 2).

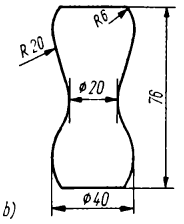


Bild 2. Zerreißprobe, sog. Achterkörper

Die Belastungsgeschwindigkeit soll 3 bis 4 MPa s^{-1} betragen. Das Bruchbild gestattet Rückschlüsse auf die Festigkeit des Werkstoffs. Es gilt:

$$\sigma_{zB} = \frac{F_{max}}{A_o}$$

σ_{zB} Zugfestigkeit (in MPa)
F_o Höchstkraft (in N)
A_o ursprüngliche Querschnittsfläche (in mm^2).

Die nach diesem Prüfverfahren erhaltenen Werte stellen Kurzzeitwerte dar. Im Langzeitversuch werden geringere Werte erhalten. Genormtes Porzellan weist eine Z. von 25 bis 75 MPa (unglasiert) bzw. 30 bis 85 MPa (glasiert) auf. Sinterkorund erreicht Werte von 260 MPa. [94]

s. Trennfestigkeit, theoretische, Festigkeit, statistische, *Weibull*-Theorie, *Proof*-Test

Zunder – *eine dünne Oxidschicht (v. a.* Fe_3O_4*)*, die sich beim Erhitzen auf Stahl- und Gußeisenteilen bildet. Sie löst sich z. T. beim Walzen, Hämmern oder Schmieden und muß vor der Weiterverarbeitung der Teile durch Entzundern (Beizen, Sandstrahlen u. a.) beseitigt werden.

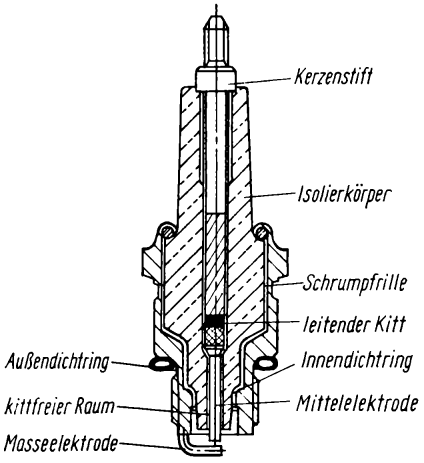
Zündgeschwindigkeit von Gasen – sie ist gleich der Verbrennungsgeschwindigkeit eines laminar strömenden, homogenen Gemisches von Brenngas und Verbrennungsmittel (Luft, Sauerstoff; s. Tabelle). Außer von der Gasart hängt die

Gas	Max. Zündgeschwindigkeit in m s^{-1}	
	mit Luft	mit Sauerstoff
Wasserstoff	2,67	8,90
Methan	0,35	3,30
Acetylen	1,31	13,50
Kohlenmonoxid	0,33	1,10

Z. vom Gaszustand und vom Mischungsverhältnis Gas:Luft ab. [419]

Zündkerze – *Vorrichtung zur Entzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Otto-Motor.* Sie gehört zu den höchstbeanspruchten Motorteilen; $3 \cdot 10^5$ Zündungen je Stunde sind normal.

Die Z. besteht aus einem Metallmantel mit Schraubengewinde, einem keramischen Isolierträger, dem Anschlußstift für Kabel und zwei Elektroden (s. Bild). Der Isolierkörper enthält hauptsächlich Tonerde mit einem Glasphasenanteil von etwa 10 bis 20 % und muß bei Temperaturen von 700 bis 800 °C 10 bis 25 kV Zündstrom isolieren und Gasdrücke von etwa 4 MPa dicht abschließen.

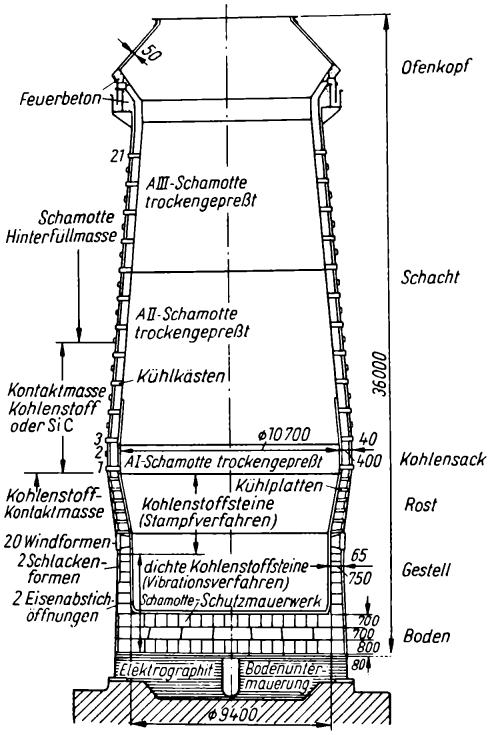


Zündkerze (Schema)

Züricher Porzellanmanufaktur – eine 1763 gegründete und bis 1834 produzierende Manufaktur, die Hart- und Weichporzellan, Fayence, Steingut u. a. herstellte. Die Erzeugnisse paßten sich stets dem Zeitgeschmack an. (Fabrikmarke s. Bild)

Fabrikmarke der Züricher Porzellanmanufaktur

Zustellung – *zusammenfassende Bezeichnung für die Ausmauerung und Auskleidung von Feuerungsanlagen jeglicher Art,* einschließlich der Dimensionierung und Festlegung der für einen bestimmten Abschnitt der Anlage erforderlichen Qualitätsstufen und Art der Feuerfestmaterialien (s. Bild). [168, 539]



Beispiel für die Zustellung eines Hochofens mit 9,5 m Gestelldurchmesser

Zustellung, monolithische (griech.: monos = einzig, lithos = Stein) – *auf der Basis von Feuerbeton* und/oder Plastics* erzeugte Zustellung* mit einer sehr geringen Anzahl von Fugen.*

Die Formgebung erfolgt vor Ort durch Stampfen mit Hilfe von Preßlufthämmern oder durch pneumatische Spritztechnik (Torkretieren*).

Aufgrund der thermischen Ausdehnung des Mauerwerkes muß eine bestimmte Anzahl von Fugen vorgesehen werden; sie sind aber so angeordnet, daß sie sich bei Arbeitstemperatur schließen. Auf diese Weise entsteht ein *Quasimonolith*.

Zuverlässigkeit – *s. Proof*-Test

Zweischichtminerale – *s.* Tonminerale

Zweistoffsysteme – *s.* Systeme 2. Ordnung

Zwiebelmuster – *ein um 1739 in der Porzellan-Manufaktur Meissen nach ostasiatischen Motiven entstandenes Dekor.* Die ovalen, in blauen Farbtönen gehaltenen Früchte stellen stilisierte Granatäpfel dar. Dazu kommen Nachbildungen von Lotosblüten (s. Bild).

Teller mit Zwiebelmuster

Zwischenglasurmalerei – *eine Dekorationsart, bei der die Malerei in zwei Glasuren eingebettet liegt.* Der Dekor wird mit Scharffeuerfarben auf den glasierten glattgebrannten Gegenstand gemalt und durch einen schwachen Glühbrand befestigt. Danach wird eine weitere Glasur dünn aufgetragen und bei hoher Temperatur glattgebrannt. Die Z. wurde durch das Königsblau der Porzellanmanufaktur Sèvres bekannt.

Zwischenschicht – *eine beim Brand sich bildende, etwa 10 bis 50 µm dicke Übergangsschicht zwischen Glasur und Scherben,* die einen guten Sitz der Glasur gewährleistet. Die flußmittelreichere Glasur wirkt lösend auf den Scherben, d. h., einige Glasurkomponenten dringen in den Scherben ein und vermischen sich mit der Schmelzphase des Scherbens. Die Eigenschaften der Z. liegen zwischen denen der Glasur und des Scherbens. An Kristallen können in der Z. gefunden werden: Anorthit, Wollastonit, Gehlenit, Cristobalit, Tridymit, Quarz.

Zwillinge – *Baufehler mit zweidimensionaler Ausdehnung.* Man kann sie sich durch Spiegelung eines Kristallbereiches an einer Zwillingsebene, die im allg. eine einfache indizierte Fläche ist, entstanden denken. Nach ihrer Entstehung unterscheidet man *Wachstums-* und *Deformationszwillinge* (durch mechanische Beanspruchung entstanden).

Zwillingsgitterplatz – *der nichtreguläre Platz zwischen den geordneten Punktlagen (Atome) im Gitter.* Da im allg. wenig Platz zwischen den Atomen ist, nimmt die Einlagerungsfähigkeit auf Z. erst mit steigender Temperatur zu.

s. Frenkel-Defekt, Fehlordnungen

Zyklon (griech./nlat.: Cyclus = Kreislauf) – *s.* Hydrozyklon

Quellenverzeichnis

[1] *Geguzin, Ja. E.*: Physik des Sinterns. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[2] Autorenkollektiv: Lehrbuch der Chemie für Ingenieurschulen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[3] *Junge, H. D.* (Hrsg.): brockhaus abc automatisierung. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1975

[4] *Kleber, W., Meyer, K.*, und *Schoenborn, W.*: Einführung in die Kristallphysik. Berlin: Akademie-Verlag 1968

[5] *Gellert, W., Kästner, H.*, und *Neuber, S.*: Lexikon der Mathematik. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1977

[6] *Emons, H. J., Keune, H.*, und *Seyfarth, H. H.*: Chemische Mikroskopie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[7] Prospekte der Fa. Standard Elektrik Lorenz AG Nürnberg, Sprechsaal 110 (1977), S. 233/234

[8] *Rösler, H. J.*: Lehrbuch der Mineralogie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1981

[9] *Rösler, H. J.*, und *Starke, R.*: Einführung in die Tonmineralogie. 3 Lehrbriefe der Bergakademie Freiberg, Fernstudium, 1967

[10] *Haubold, J.*: Technologische Berechnungen in der Keramik (Masseberechnungen). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR, Fernstudium, 1977

[11] *Haubold, J.*: Technologische Berechnungen in der Keramik (Glasuren, Fritten- und Farbkörper). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR, Fernstudium, 1978

[12] *Bulst, H.*: Keramische Werkstoffe (Porzellan). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR, Fernstudium, 1980

[13] *Leipold, H.*: Technologische Berechnungen in der Keramik (Wärmetechnische Berechnungen). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR, Fernstudium, 1979

[14] *Heuschkel, H.*: Elektrokeramik 1. Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR, Fernstudium, 1979

[15] *Schubert, H.*: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. 3 Bde. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969/72

[16] *Hinz, W.*: Silikate. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1970

[17] *Petzold, A.*, und *Hinz, W.*: Silikatchemie – Einführung in die Grundlagen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1976

[18] *Senkora, T.*: Wärmetechnische Rechnungen. Essen: Vulkan-Verlag 1977

[19] *Blankenburg, H. J.*: Quarzrohstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[20] *Tomanek, V.*: Feuerfeste Schiefertone und Technologie ihrer Aufbereitung. Praha 1959

[21] *Singer, F.*, und *Singer, S.*: Industrielle Keramik. 3 Bde. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1964/66/69

[22] *Hofmann, W.*, und *Gatzmanga, H.*: Einführung in die Betriebsmeßtechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1972

[23] *Lenk, R.*, und *Gellert, W.* (Hrsg.): brockhaus abc physik. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1973

[24] *Dinger, K.*, und *Jebsen-Marwedel, H.*: Kieselsäure in der Natur. Glastechnische Berechnungen 30 (1957) 7, S. 320

[25] *Jung, H.*: Grundriß der Mineralogie und Petrographie. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1960

[26] *Petraschek, W.*, und *Petraschek, W. E.*: Lagerstättenlehre. Wien: Springer-Verlag 1950

[27] *Rasch, H.*: Feldspat als Flußmittel im keramischen Scherben. Ber. d. DKG 54 (1977) 4 GW 1

[28] *Schüller, K.-H.*, und *Jäger, H.*: Chemismus und Eigenschaften von Feldspaten und deren Auswirkungen im Porzellan. Ber. d. DKG 56 (1979) 2, S. 29–35

[29] *Reumann, O.:* Eigenschaften der keramischen Rohstoffe. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1967

[30] *Stern, H.*: Grundlagen der Technologie der Keramik. Selb: Notos-Verlagsbuchhandlung 1978

[31] *Seyfarth, H. H.*, und *Keune, H.*: Phasenanalyse fester Rohstoffe und Industrieprodukte. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1980

[32] *Kühn, W.*, und *Geu, W.*: Email-Technik. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

[33] *Melzer, D.*: Isostatisches Pressen keramischer Pulver und Körnungen. Freiberger Forschungsheft A 626. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1980

[34] *Junge, H. D.* (Hrsg.): brockhaus abc elektronik. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1978

[35] *Köhler, E.*: Mikroelektronik. 3 Lehrbriefe für das Fernstudium. Berlin: VEB Verlag Technik 1975

[36] *Schneider, H. G.*, und *Häßner, A.*: Werkstoffe und Technologie elektronischer Bauelemente. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1976

[37] *Kingery, W. D.*: Introduction to ceramics. New York: John Wiley and sons Inc. 1963

[38] *Weiss, A.*: Der Kationenaustausch bei Kaolinit. Z. anorg. allg. Chemie 299 (1959), S. 92–120

[39] *Hülsenberg, D., Krüger, H. G., Röthig, Th.*, und *Ferrière, G.*: Maschinelle Formgebung von Keramik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1980

[40] *Schneider, H.*, und Mitarb.: Stoffbestand, Mikrogefüge und Heißeigenschaften amerikanischer und chinesischer ff. Bauxite. Ber. d. DKG 59 (1982) 8/9, S. 425

[41] *Hofmann, U.*: Oberflächenladung und Rheologie der Tonminerale. Ber. d. DGK 41 (1964), S. 680–685

[42] *Mannchen, W.*, und *Wibranetz, A.*: Kolloidchemie. Freiberg: Bergakademie-Fernstudium, 1959

[43] *Blumenauer, H.*, und *Pusch, G.*: Bruchmechanik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1987

[44] *Störr, M.*, und Mitarb.: Mineralogische und technologische Untersuchungen des Kaolins von Seilitz bei Meißen. Silikattechnik 18 (1967), S. 150–156

[45] *Störr, M.*: Zur Mineralogie der geschlämmten Industriekaoline der DDR. Sprechsaal 99 (1966), S. 1035–1043

[46] *Schwerdtner, G.*, und *Störr, M.*: Mitteilungen über Zusammensetzung und Eigenschaften des Kaolins von Röblingen (See). Silikattechnik 22 (1971), S. 123–124

[47] *Kromer, H.*, und *Schüller, K. H.*: Eigenschaften von Kaolinen für die Keramik und als Füllstoff. Ber. der DKG 50 (1973) 1, S. 15–19; 2, S. 39–41

[48] *Schüller, K. H.*: Technologische Eingruppierung von Kaolinen nach ihrem Mineralbestand. Ber. der DKG 53 (1976) 10, S. 285–287

[49] *Schwerdtner, G.*: Komplexität der Beziehungen zwischen Lagerstättenbildung, Rohstoffeigenschaften, technologischem Prozeß und Werkstoff, dargelegt am Beispiel Kaolin. Freiberg: Bergakademie – Sektion Geowissenschaften 1976

[50] *Skorik, J.*, und *Hennicke, G.*: Technische Bedeutung und Eigenschaften des Vermiculits. Silikattechnik 27 (1970) 1, S. 4–5

[51] *Hecht, H.*: Lehrbuch der Keramik. Berlin: Verlag von Urban und Schwarzenberg 1930

[52] *Reiner, M.*: Rheologie in elementarer Darstellung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1967

[53] Prospekte des VEB Silikatrohstoffkombinat Kemmlitz

[54] *Trawinski, H. F.*: Das Schlämmen von Kaolin in Zentrifugal-Stromklassierern. Ker. Z. 15 (1963) 1, S. 23–29

[55] *Kirsch, H.*: Technische Mineralogie. Würzburg: Vogel-Verlag 1966

[56] *Christian, W.*: Einführung in die technische Thermodynamik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[57] *Junge, H. D.*: Messung – Meßgröße – Maß-

einheit. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1979

[58] *Mcedlov-Petrosjan, O. P.*: Thermodynamik der Silikate. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1965

[59] *Kubaschewski, O.*, und *Evans, E.*: Metallurgische Thermochemie. Berlin: VEB Verlag Technik 1959

[60] *Schick, H. L.*: Thermodynamics of certain refractory compounds. New York – London: Academic Press 1966

[61] *Mannchen, W.*: Einführung in die Thermodynamik der Mischphasen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1965

[62] *Suzdalčev, E. I.*: Eigenschaften von Quarzkeramiken (russ.). Neorgan. materialy, Moskva 20 (1984) 7, S. 1227–1237

[63] *Hennicke, H. W.*: Thermodynamisches Rechnen in der Keramik. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1967

[64] *Meyer, K.*: Physikalisch-chemische Kristallographie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1972

[65] *Gruhm, G., Fratzscher, W.*, und *Heidenreich, E.*: ABC Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1979

[66] Brockhaus ABC-Chemie. 2 Bde. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1966

[67] *Sommerfeld, A.*: Thermodynamik und Statistik. 2. Aufl. Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft Geest u. Portig 1962

[68] *Frischat, G. H.*: Diffusion. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1968

[69] *Spauszus, S.*: Werkstoffkunde Glas. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974

[70] *Frischat, G. H.*: Korrosion. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1960

[71] *Letort, Y.*: Gegenwärtiger Kenntnisstand über Tonerdesilikate. Ber. d. DKG 54 (1977) 6, S. 203–207

[72] *Schönborn, N.*: Übersicht über die Verfahren der Tonerdegewinnung. HTM 43 (1975) S. 1369

[73] *Heyne, K.*: Historisch-ökonomische Betrachtungen zur Gewinnung von Tonerde aus einheimischen Rohstoffen. HTM 43 (1975) S. 1366

[74] *Bürger, W.*: Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Charakterisierung von Tonerde und tonerdehaltigen Erzeugnissen. HTM 43 (1975), S. 1353–1360

[75] *Wiegmann, J.*, und Mitarbeiter: Beziehungen zwischen den petrologischen Charakteristika und den keramischen Eigenschaften von Kaolinen mit nennenswerten Gehalten von Illit-Smektit-Wechsellagerungsmineralien. Silikattechnik 29 (1978) 9, S. 263–267

[76] *Schlegel, E.*: Die Definition des Begriffs Keramik. Vortrag zum Philosophie-Kolloquium am 06. 04. 1966 in Freiberg

[77] *Joger, A.*: Indexierregeln für das Fachgebiet Keramik. Dipl.-Arbeit am Institut INER der TH Ilmenau 1975

[78] Anonym: Katalysator, der Abgasentlüfter. Automobil-Technik/kfz-Betrieb 75 (1985), S. 22–24

[79] *Haase, Th.*: Keramik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1968

[80] *Kammerich, G.*: Werkstoffkunde Techkeramik 1 (Oxide). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1968

[81] *Heuschkel, H.*: Keramische Verfahrenstechnik 1. Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1966

[82] *Schüller, K. H.*: Aluminiumoxid. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1967

[83] *Willmann, G.*: Keramographie. Ber. d. DKG 56 (1979) 6 (Grundlagenwissen für die Praxis dargestellt)

[84] *Leutwein, F.*, und *Sommer-Kulaszewski, Ch.*: Allgemeine Mineralogie. Freiberg: Bergakademie-Fernstudium, 1960

[85] *Beyer, K.*, und *Heinemann, G.*: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Gefüge, Zugfestigkeit, Lichtstreuung und Transparenz an transparenten Brennerrohren. IAA an der Ing.-Schule für Elektrotechnik und Keramik, Hermsdorf 1978

[86] *Davidge, R. W.*: Mechanical behaviour of ceramics. Cambridge: Cambridge University Press 1979

[87] *Krischer, O.*, und *Kast, W.*: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin: Springer-Verlag 1978

[88] *Moravek, J.*: Die Energiebilanzen von Trocknungsanlagen. Keram. Z. 32 (1980) 3/4

[89] *Kienow, E.*, und *Hennicke, H. W.*: Eine Methode zur Herstellung von gesinterten oxidkeramischen Einzelstücken mit hoher Maßgenauigkeit ohne mechanische Nachbearbeitung. Ber. der DKG 57 (1980) 9/10, S. 179–183; 11/12 S. 267–271

[90] *Doreya, M. M. I.*, u. a.: Hochofenschlacke als Flußmittel für die keramische Industrie. Ber. der DKG 57 (1980) 9/10, S. 187–194

[91] *Appen, A. A.*, und *Petzold, A.*: Hitzebeständige Korrosions-, Wärme- und Verschleißschutzschichten. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1984

[92] *Hahn, Ch.*, und *Teuchert, K.*: Bedeutung des glaskeramischen Systems $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ in der dentalen Aufbrenntechnik. Ber. der DKG 57 (1980) 9/10, S. 208–214

[93] *Dorsch, P.*: Meßmethode zur Spannungsberechnung in Metall-Porzellanverbundkörpern. Ber. der DKG 56 (1979), S. 328–351

[94] *Heuschkel, H.*, und *Nadler, P.*: Festigkeit und Festigkeitsprüfung keramischer Werkstoffe. Dresden: Institut für Rationalisierung der Elektrotechnik/Elektronik 1980

[95] *Henkel, O.*: Ungeordnete Festkörper – Ausgangspunkt neuer Werkstoffklassen. Berlin: Akademie-Verlag 1981

[96] *Gatzmanga, H.* (Hrsg.): Prozeßmeßtechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[97] *Waldecker, G. G.*, und *Scholze, H.*: Automatische Gefügeanalyse von Sinterkorund. Ber. der DKG 57 (1980) 11/12, S. 272–275

[98] *Vendl, A.*, und Mitarb.: Der Einfluß einer Mahlbehandlung ohne Veränderung der Korngrößen auf die Festigkeitswerte σ_B und K_{Ic} dichtgesinterter Korundkörper. Sprechsaal 109. Jg., S. 500–503

[99] *Brdicka, R.*: Grundlagen der Physikalischen Chemie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1965

[100] *Lehnhäuser, W.*: Glasuren und ihre Farben. Düsseldorf: Knapp-Verlag 1973

[101] *Schorr, D.*, und Mitarb.: Arbeitsschutz in der Porzellan- und feinkeramischen Industrie. Berlin: Verlag Tribüne 1974

[102] Autorenkollektiv: Grundlagen der Elektrotechnik. Bd. 1: Gleichstromtechnik, Bd. 2: Wechselspannungstechnik, Bd. 3: Elektronische Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1969/72

[103] *Balkevich, V. L.*, und Mitarbeiter: Änderung der Phasenzusammensetzung feuerfester Materialien bei ihrer Reaktion in Glasschmelzöfen (russ.). Moskva: Ogneupory (1984) 8, S. 17–21

[104] *Leusden, C. O. P.*, und *Hilker, E.*: Erhöhung der Maßhaltigkeit von keramischen Produkten, insbesondere durch Zuschlagstoffe, zur Verbesserung der Formgebung und des Trocknungsablaufes. Opladen: Westdeutscher Verlag 1980 (Forschungsbericht Nr. 2 960)

[105] Anonym: Grundlagen und Praxis der Haftung beim Beschichten und Verbinden. Bericht über ein Symposium der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde 1977 (8618)

[106] *Büttner, H. I.*, und *Wiegand, A. U.*: Untersuchungen über die Eignung des Gefriertrokkenverfahrens zur Herstellung von Ferritpulvern mit hoher spezifischer Oberfläche. HTM (1977) 47, S. 1491–1495

[107] *Reetz, T.*, und *Irmisch, R.*: Qualitätssicherung bei der Fertigung von ThO_2-Keramik. Silikattechnik 34 (1983) 12, S. 375–377

[108] *Gawlytta, M.*, und *Fietsch, G.*: Entwicklung eines Spezialkeramikgipses für Drehformen. Silikattechnik 26 (1975) 10, S. 334–337

[109] *Joger, A.*: Literaturbericht zum Thema: Zentrale Masseaufbereitung. VEB Keramische Werke Hermsdorf, Leitstelle für Information und Dokumentation 1980 (unveröffentlicht)

[110] *Krause, E., Berger, I., Nehlert, J.*, und *Wiegmann, J.*: Technologie der Keramik, Bd. 1. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1980

[111] *Krause, E., Berger, I., Plaul, Th.*, und *Schulle, W.*: Technologie der Keramik, Bd. 2. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1980

[112] *Schöps, W.*: Verfahrenstechnik – Dosieren, Mischen, Verschlickerung. Hermsdorf 1984; Lehrbrief an der IfEK, Best.-Nr. 03 1385 02 1

[113] *Thiele, J.*: Innovationen bei selbsttätigen Waagen zum Wägen und Abwägen steigern die Leistungsfähigkeit von Dosieranlagen. Aufbereitungstechnik 23 (1982) 1, S. 24–32

[114] *Weinberg, H.*: Wäge- und Dosiersysteme für

diskontinuierliche Verfahren in der Gemengetechnik. Aufbereitungstechnik 23 (1982) 1, S. 1–7

[115] *Müller, K. H.*: Dosiergeräte – ein Überblick. Keramische Zeitung 20 (1976) 6, S. 294–297

[116] *Preller, A.*: Verfahrenstechnik – Fördern, Lagern, Dosieren. Hermsdorf 1984, Lehrbrief an der IfEK Best.-Nr. 03 1385 010

[117] *Fischer, W.*: Keramische Verfahrenstechnik – Untersuchungsmethoden. Hermsdorf 1986: 2 Lehrbriefe an der IfEK, Best.-Nr. 03 1385 07 1/2

[118] *Batel, W.*: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Berlin: Springer-Verlag 1971

[119] *Ries, H. B.*: Mischtechnik und Mischgeräte – Versuch einer Klassifizierung. Aufbereitungstechnik 10 (1969) 1, S. 1–30

[120] *Müller, F.*: Vermischung körniger Feststoffmassen. Aufbereitungstechnik 7 (1960) 9, S. 821–823

[121] *Zakharova, G. I.*: Verfestigung von Molybdändisilizid mit fadenförmigen Al_2O_3-Kristallen (russ.). Neorgan. materialy, Moskva, 20 (1984) 7, S. 1143–1147, (Sign. ep. 014147 – 1143 russ.)

[122] *Adolphi, G.*, u. a.: Lehrbuch der chemischen Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1970

[123] *Ihl, R.*, und *Riedel, G.*: Oxidkeramik. 3 Lehrbriefe an der IfEK, Hermsdorf 1984/85, Best.-Nr. 03 1384 031

[124] *Petzold, A.*, und *Ulbricht, J.*: Tonerde und Tonerdewerkstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1984

[125] Anonym: Silikatchemisches Grundlagenpraktikum der Sektion Verfahrens- und Silikattechnik der BA Freiberg 1981

[126] *Palatzky, A.*: Technische Keramik. Berlin: VEB Verlag Technik 1954

[127] *Mechtold, W.*: Automatisches Kopieren von Hochspannungsisolatoren. Silikattechnik 9 (1958) 6, S. 260–264

[128] *Kuschel, M. I., Edjuk, J. J.*, und *Titôva, N. I.*: Einfluß der Feinmahlung von Ton im Wirbelschicht-Verfahren auf die Eigenschaften einer Keramik. Steklo i keramika, Moskva 60 (1984) 2, S. 20–21

[129] *Weiers, A.*, und *Witte, H.*: Kristallstruktur und chemische Bindung. Berlin: Akademie-Verlag 1983

[130] *Schulze, H. I.*, und *Kästner, F.*: Wie sind die Begriffe Viskosität, Bildsamkeit, Plastizität und Bindefähigkeit auseinanderzuhalten? TIZ 89 (1965), S. 395–400

[131] *Haase, Th.*: Versuch einer allgemeinen Theorie der Bildsamkeit keramischer Massen. Silikattechnik 3 (1952), S. 265–267

[132] *Maslenikova, G. N.*, und *Gavrikova, L. P.*: Lithiumhaltige Keramik (russ.). Neorgan. materialy, Moskva 20 (1984) 7, S. 1227–1237

[133] *Salmang, H.*, und *Scholze, H.*: Keramik. Teil 2: Keramische Werkstoffe. Heidelberg: Springer-Verlag 1983

[134] *Moore, F.*, und *Hennicke, H. W.*: Rheologie der Keramik. Goslar: Hübner-Verlag 1967

[135] *Sommerhuber, R. C.*: Einsatzmöglichkeiten der Keramik (betr.: Rohstoffe und ihre Verwendung). Oesterr. keram. Rdsch., Wien 21 (1984) 7/8, S. 10–14

[136] *Mostetzky, H.*: Zwei Modellelemente für die Bildsamkeit keramischer Massen. TIZ 68 (1974), S. 287–288

[137] *Hofmann, U.*: Über die Grundlagen der Plastizität der Kaoline und Tone. Ber. der DKG 26 (1949), S. 21–32

[138] *Entreß, K.*: Bestimmung des Anmachwassers nach *Pfefferkorn* und die Eignung des Verfahrens für die Betriebskontrolle. Silikattechnik 10 (1959) 9, S. 441–442

[139] *Lehmann, H.*, und *Koltermann, M.*: Luftdurchlässigkeitsprüfung nach *Blaine*. TIZ 85 (1961) 10, S. 232–235

[140] *Haul, R.*, und *Dümbgen, G.*: Vereinfachte Methode zur Messung von Oberflächengröße durch Gasadsorption. 1. Mitteilung: Chemie-Ing.-Technik (1960) 9, S. 349–354; 2. Mitteilung: Chemie-Ing.-Technik (1963) 8, S. 586–589

[141] *Gall, L.*: Über ein neues Gerät zur schnellen Bestimmung spezifischer Oberflächen. Angewandte Meß- und Regeltechnik (1964) 12, S. 107–111

[142] *Kroupa, F.*: Anwendung der Bruchmechanik in der Keramik. Silikáty 27 (1983) 4, S. 365–385

[143] *Krause, E., Berger, I., Kröckel, O.*, und *Maier, P.*: Technologie der Keramik. Bd. 3: Thermische Prozesse. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1983

[144] *Petzold, A.*: Anorganisch-nichtmetallische

Werkstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986

[145] *Schatt, W.* (Hrsg.): Einführung in die Werkstoffwissenschaft. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1987

[146] *Hennicke, H. W.*: Anelastizität und innere Reibung keramischer Werkstoffe. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1978

[148] *Heuschkel, H.*: Sinterkunde für Keramik. 4 Lehrbriefe an der IfEK, Hermsdorf 1969 bis 1973

[149] *Hauffe, K.*: Reaktionen in und an festen Stoffen. Berlin–Göttingen: Springer-Verlag 1955

[150] *Salmang, H.*, und *Scholze, H.*: Keramik. Teil 1: Allgemeine Grundlagen. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1982

[151] *Reinhardt, W.*, und *Neubert, G.*: Das deutsche Fachwort der Technik. Leipzig: VEB Verlag Enzyklopädie 1984

[152] *Georges, H.*: Handwörterbuch Latein–Deutsch. Hannover und Leipzig: Hahnsche Buchhandlung 1902

[153] *Rübenbauer, H.*, und *Hofmann, J. B.*: Lateinische Schulgrammatik auf sprachwissenschaftlicher Grundlage. München und Berlin: Verlag von R. Oldenburg 1944

[154] *Menge, H.*: Taschenwörterbuch Griechisch–Deutsch und Deutsch–Griechisch. Berlin-Schöneberg: Langenscheidtsche Verlagsbuchhandlung 1914

[155] *Sonntag, H.*: Lehrbuch der Kolloidwissenschaft. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1977

[156] *Sonntag, H.*, und *Strenge, K.*: Koagulation und Stabilität disperser Systeme. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1970

[157] *Krause, E.*, und Mitarb.: Grobkeramiktaschenbuch. 3 Bde.: Produktionsvorbereitung; Produktionsdurchführung; Erzeugnisse. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1975

[158] Autorenkollektiv: Technologie der Feinkeramik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1987

[159] *Petzold, A.*, und *Ulbricht, J.*: Für eine klare Terminologie in der Silikattechnik. Silikattechnik 33 (1982) 12, S. 368–369

[160] Autorenkollektiv: Physik – Fundament der Technik (Lehrbuch für Ing.-Schulen). Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1984

[161] *Schumann, H.*: Kristallgeometrie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1980

[162] *Budnikow, P. P.*: Technologie der keramischen Erzeugnisse. Berlin: VEB Verlag Technik 1953

[163] *Hahn, Ch.*, und Mitarb.: SiO_2-Relikte in Porzellanglasuren als Ursache von Fehlern im Dekorbrand. Ber. der DKG 62 (1985) 6, S. 253–258

[164] *Liebscher, I.*, und *Willert, A.*: Technologie der Keramik. Dresden: VEB Verlag der Kunst 1955

[165] *Graclet, M.*, *Romann, A.*, und *Buchy, F.*: Verfahren zur Herstellung von Dickschichtvaristoren auf einem Hybridschaltkreis-Substrat. Europäisches Patentamt Nr. 0 074 312 A1 vom 27. 8. 82

[166] *Lübke, M.*, und Mitarb.: Herstellung von Enstatit im Drehrohrofen. Silikattechnik 35 (1984) 2, S. 376–379

[167] *Storm, W.*, und *Pilling, G.*: Der Gebrauchsenergiebedarf zur Herstellung silikatischer Erzeugnisse. Silikattechnik 31 (1980) 1, S. 3–6

[168] *Verworner, O.*, und *Berndt, K.*: Feuerfeste Baustoffe für Glasschmelzanlagen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[169] *Konopicky, K.*: Feuerfeste Baustoffe. Düsseldorf: Verlag Stahleisen M. B. H. 1957

[170] *Langbein, H.*, *Peter, H.*, und *Schwalm, H.-J.*: Karbonat- und Sulfatgesteine. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1981

[171] *Mütze, K.*: Brockhaus ABC der Optik. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1961

[172] Anonym: Handbuch für Halbleiter. Hrsg.: Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf

[173] *Störr, M.*: Die Kaolinlagerstätten der DDR. Berlin: Akademie-Verlag 1983

[174] Autorenkollektiv: Technologie und Anwendungen von Ferroelektrika. Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft Geest und Portig KG 1976

[175] *Schüller, K. H.*: Steatit. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1976

[176] *Schüller, K. H.*: Die Kristallmodifikationen des $MgSiO_3$ und ihre Stabilitätsbeziehungen. Stemag-Nachrichten (1963) 37

[177] *Awjetikow, W.-G.*, u. a.: Prozesse, die beim Sintern plastischer Steatitmassen ablaufen (russ.). Steklo i keramika, Moskva, 15 (1958) 7, S. 29–33

[178] *Krahl, K.*, und *Palatzky, A.*: Synthetische Rohstoffe für die Steatitfertigung. HTM (1962) 5, S. 117–124

[179] *Krause, O.*, und Mitarb.: Wärmeausdehnung einiger specksteinhaltiger Massen des Systems $MgO-Al_2O_3-SiO_2$. Sprechsaal 67 (1934), S. 509–511; 525–528; 543–544

[180] *Löffler, W.*, und *Petermann, K.*: Dichte, weißbrennende Cordieritkeramik als Werkstoff für flammenfestes Geschirr. Silikattechnik 19 (1968) S. 54–57

[181] *Koschlig, H. J.*: Untersuchungen zum Verhalten cordierithaltiger Brennhilfsmittel beim Einsatz in der Produktion von baukeramischen Erzeugnissen. Ber. der DKG 54 (1977), S. 273–276

[182] *Berger, I.*: Zum Nachweis der Gefügeelemente Korund und Cordierit in versatzmodifizierten silikatkeramischen Werkstoffen. Silikattechnik 27 (1976) 5, S. 163–164

[183] *Sladkov, A. S.*: Bereitstellung eines Tonerdeschlickers in einem rotierenden Einkammer-Trommelmischer. Steklo i keramika, Moskva, 59 (1983) 12, S. 15–16

[184] *Harders, F.*, und *Kienow, S.*: Feuerfestkunde. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag 1960

[185] *Hecht, H.*: Lehrbuch der Keramik. Berlin: Verlag Urban und Schwarzenberg 1923

[186] *Storm, R.*: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1969

[187] *Haage, R.*: Zur Klärung der Begriffe Struktur und Textur für den Bereich Keramik. Silikattechnik 26 (1975) 6, S. 200–201

[188] *Wagenbreth, O.*: Entwurf einer allgemeinen Gefügelehre. Silikattechnik 29 (1978) 4, S. 99–102; 5, S. 148–151

[189] *Heuschkel, H.*: Eigenschaften und Prüfung elektrokeramischer Werkstoffe. Lehrbrief: Elektrokeramik 2 an der IfEK, Hermsdorf 1982

[190] *Weyl, D.*, und *König, A.*: Prüfung keramischer Isolatoren. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1974

[191] *Maschek, H. I.*: Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982

[192] *Wilhelmi, B.* (Hrsg.): Fügen von Glas, Keramik und Metall. Friedrich Schiller Universität Jena 1984 (Jenaer Ingenieurtag)

[193] *Hecht, A.* (Hrsg.): Elektrokeramik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1976

[194] *Gahm, J.*: Die mikroskopische Bildanalyse in der Mineralogie. Fortschr. Mineral. 53 (1975), S. 79–128

[195] *Reijnen, P.*, und Mitarb.: Vitrifikationsprozeß und Porenwachstum. Ber. der DKG (1984) 9/10, S. 441–445 (ceramic forum internat.)

[196] *Michels, K.*: Verfahrenstechnische Nachbearbeitung. Lehrbriefreihe Verfahrenstechnik an der IfEK, Hermsdorf 1984, Best.-Nr. 03 1385 053

[197] Autorenkollektiv: Wissensspeicher Lasertechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1982

[198] *Hiller, J. E.*: Grundriß der Kristallchemie. Berlin: Verlag Walter de Gruyter u. Co 1952

[199] *Heinke, G.*, und *Magiera, K.*: Bondverfahren in der Mikroelektronik. Dresden: Wiss.-techn. Information des Instituts für Rationalisierung der Elektrotechnik/Elektronik 1979

[200] *Korkin, V. I.*, und *Solnyschkina, T. N.*, u. a.: Natürliches Diopsid – ein zukunftsträchtiger keramischer Rohstoff. Steklo i keramika, Moskva, 60 (1984) 3, S. 21–22

[201] *Vlasov, A. S.*, und *Kotljarova, N. B.*: Optimale Bedingungen für die Feinmahlung verschiedener Materialien in einer elektromagnetischen Vorrichtung. Steklo i keramika, Moskva, 60 (1984) 3, S. 23–24

[202] *Horn, G.*, und *Schnapp, I. D.*: Schallemissionsanalyse – ein modernes Prüfverfahren zur Untersuchung silikatischer Werkstoffe. Feuerfest-Keramik (1982) 6, S. 17–22

[203] *Kumagai, M.*, und *Uchimura, R.*: Kennwerte der akustischen Emission und Deformation – Bruchverhalten von ff. Material bei Dreipunktbiegeprüfung. Yogyo-kyokai-shi, Tokyo, 90 (1982) 9, S. 496–503

[204] *Cillo, E.*, und *Lenau, J. C.*: Bewertung der Temperaturwechselbeständigkeit von Feuerfestmaterialien durch Schallemission. TIZ-Fachbericht, Coburg, 107 (1983) 8, S. 542–551

[205] *Boniecki, M.*, und Mitarb.: Schallemission und ihre Anwendung bei der Beurteilung der mechanischen Festigkeit von Keramik-Metallverbindungen. Szeklo i Ceram, Warszawa, 33 (1982) 2, S. 29–34

[206] *Scholze, H.*, und Mitarb.: Resonanzfrequenz und Schallemissionsmessungen an Kanalisationssteinzeugrohren. Ber. der DKG 53 (1976) 10, S. 305–308

[207] *Semisch, G.*, und Mitarb.: Akustische Emissionstechnik und Rißbildung im Glas. Silikattechnik 26 (1975) 9, S. 304–306

[208] *Vogel, W.*: Glaschemie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1979

[209] *Nölle, G.*: Technik der Glasherstellung. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982

[210] *Schulz, G.*, und *Kreibisch, H.*: Arbeitshygienische Normen und MAK-Werte. Berlin: Verlag Tribüne 1984

[211] *Quarg, M.* (Hrsg.): ABC-Umweltschutz unter besonderer Berücksichtigung der Umwelttechnologie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1976

[212] *Avtuchov, V. V.*, u. a.: Herstellung von Periklas in einem Ofen mit stromleitender Herdfläche. Ogneupory 52 (1984) 2, S. 33–35

[213] *Steinmann, D.*: Untersuchung des langsamen Rißwachstums von heißgepreßtem Siliciumnitrid bei hohen Temperaturen. Sprechsaal 119 (1986) 7, S. 562–565

[214] *Curth, W.*: Betriebsmeß- und Regeltechnik. Berlin: VEB Verlag Tribüne 1964

[215] Autorenkollektiv (Institut für Fachschulwesen der DDR): Lehrbuch der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1970

[216] *Thomas, W.*: Die internationale praktische Temperaturskale als Approximation der thermodynamischen Temperaturskale. In: VDI-Berichte 198: Technische Temperaturmessung. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1973

[217] *Hofmann, D.*: Temperaturmessungen und Temperaturregelungen mit Berührungsthermometern. Berlin: VEB Verlag Technik 1977

[218] *Fasching, G.*: Werkstoffe für die Elektrotechnik. Wien: Springer-Verlag 1984

[219] *Tomandi, G.*, und *Stiegelschnitt, A.*: Mechanismus des Sinterns bei Ein- und Mehrstoffsystemen unter Berücksichtigung der wichtigsten technologischen Einflußgrößen. Ber. der DKG 55 (1978) 3, S. 169–173

[220] *Kröckel, O.*: Das Temperatur-Zeit-Verhalten der Sinterung. Silikattechnik 31 (1980) 5, S. 142–144

[221] *Willmann, G.*: Konstruieren mit Keramik-Werkstoffkennwerten. Sprechsaal 117 (1984) 10, S. 914–923

[222] *Eckstein, P.*, *Kanther, H.*, und *Schuen, W.*: Keramisches Brennen. Halle: Verlag von W. Knapp 1950

[223] *Leipold, H.*: Sintereinrichtungen. Lehrbrief der Reihe Sintertechnik, Nr. 3 an der IfEK, Hermsdorf 1985, Best.-Nr. 03 1382 03 0

[224] *Joger, A.*: Aluminiumnitridkeramik – ein Literaturbericht. Leitstelle für wiss.-techn. Information, VEB KKWH 30. 01. 84

[225] *Muche, K.* (Hrsg.): Form und Dekor. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986

[226] *Joger, A.*: Siliciumkarbidkeramik – ein Trendbericht. Leitstelle für wiss.-techn. Information, VEB KKWH 1981

[227] *Joger, A.*: Herstellung synthetischer keramischer Roh- und Werkstoffe durch naßchemische Verfahren. Silikattechnik 30 (1979) 8, S. 242–245

[228] *Hüller, D.*, und *Weichert, R.*: Dreidimensionale Bildanalyse zur Bestimmung von Volumen, Sphärizität unregelmäßig geformter Partikeln im Größenbereich von unter 1 µm bis 50 mm. Freiberger Forschungshefte A 700. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[229] *Kröckel, O.*: Der Verdichtungsverlauf beim Sintern von Porzellan und sein Einfluß auf die mechanische Festigkeit. HTM (1973) 37, S. 1171–1180

[230] *Peelen, J. G. I.*: Al_2O_3-Keramik – Sintern und optische Eigenschaften. Diss. TH. Eindhoven 1977

[231] *Ondracek, G.*: Zum Zusammenhang zwi-

schen Eigenschaften und Gefügestruktur mehrphasiger Werkstoffe. Z. Werkstofftech. 8 (1977), S. 240–246 und 9 (1978), S. 96–100

[232] *Kruspe, P.*: Braune Scharffeuerglasur für Hochspannungsporzellan, Probleme und derzeitiger Entwicklungsstand. Silikattechnik (1974) 7, S. 232–234

[233] *Schulle, W.*, und *Hintzen, U.*: Methode zur Steuerung von Brennkurven unter Berücksichtigung thermischer Effekte in keramischen Massen. Silikattechnik 32 (1981) 11, S. 336–337

[234] *Brunklaus, J. H.*: Industrieöfen – Bau und Betrieb. Essen: Vulkan-Verlag 1979

[235] *Kröckel, O., Höfling, H., Assmussen, P.*, und *Sauer, W.*: Der Aufheizvorgang beim Sintern von Porzellan im Bereich des Kaolinitzerfalls. Silikattechnik 29 (1978) 11, S. 239–241

[236] *Storch, W., Ruf, H.*, und *Scholze, H.*: Mikrorißbildung und Festigkeit quarzhaltiger Tonkeramik. Ber. der DKG 7 (1984), S. 335 bis 342

[237] brockhaus abc physik. 2 Bde. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1971

[238] *Weißmantel, Ch.*, und *Hamann, C.*: Grundlagen der Festkörperphysik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1981

[239] *Helke, G.*: Keramische Dielektrika und Ferroelektrika. 2 Lehrbriefe an der IfEK, Hermsdorf 1985, Bestell- Nr. 03 1384 041/2

[240] *Schmelz, H.*, und *Scheuchenpflug, F.*: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen anomalem Kornwachstum und Zwillingsbildung in $BaTiO_5$-Keramik. Ber. der DKG 4/5 (1984), S. 205–207

[241] *Kerbe, F.*, und *Haase, T.*: Berylliumoxid-Keramik, Gefügekartei. Silikattechnik (1984)

[242] *Kerbe, F.*: Sintern von BeO-Keramik. Keram. Zeitschrift 37 (1985), S. 348–349

[243] *Brauer, G., Kerbe, F.*, u. a.: Positron Annihilation Studies on BeO Powders. phys. stat. sol 82 (1984) 143

[244] *Schiller, S.*, und *Heisig, U.*: Bedampfungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1975

[245] *Schultze, D.*: Differentialthermoanalyse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1971

[246] *Heuschkel, H.*: Keramische Verfahrenstechnik. Lehrbrief 7 an der IfEK, Hermsdorf, Best.-Nr. 170.03-07

[247] *Heuschkel, H., Knechtel, W., Lehninger, G.*, und *Schwab, Th.*: Verfahren zur Herstellung von Implantaten aus Aluminiumoxid. Wirtschaftspatente Nr. 121 025 v. 19. 8. 75 und Nr. 122 640 v. 17. 12. 75, Amt für Erfindungs- und Patentwesen der DDR

[248] *Glien, W.*, und *Benz, H.*: Hermsdorfer Biokeramik – Werkstoffeigenschaften und Erzeugnisprogramm. HTM 62 (1983) S. 1952–1955

[249] *Herrmann, H. I.*: Neuregelung der gesetzlichen Bestimmung der Schadstoffabgabe keramischer Glasuren, Dekorationen und Emails in der DDR. Silikattechnik 25 (1974) 11, S. 380–382

[250] *Herrmann, H. I.*: Neue Prüfstandards zur Bestimmung der Schadstoffabgabe keramischer Farben, Glasuren und Dekorationen, Silikattechnik 26 (1975) 3, S. 98–99

[251] *Frielinghaus, R.*: Grundlagen der zerstörungsfreien Prüfung mit Ultraschall – Handbuch der Keramik – Beilage zur Ker. Zeitschrift. Freiburg: Verlag Schmid 1968

[252] *Fekecz, J.*, und *Ranachowski, J.*: Beurteilung der mechanischen Festigkeit von elektrotechnischem Porzellan. HTM H 9 (1963)

[253] *Rapoport, M. In.*, und Mitarbeiter: »Schall 202« für die Kontrolle feuerfester Erzeugnisse. Ogneupory 52 (1984) 5, S. 34–37

[254] *Singer, F.*, und *Singer, S.*: Industrielle Keramik. 3 Bde. Berlin/Göttingen/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1964/66

[255] *Roßner, W.*: Sinterverhalten und elektrische Eigenschaften von neodym dotierter Bleizirkonat-Titanat-Keramik. Diss. Universität Erlangen–Nürnberg 1985

[256] *Michalowsky, L.*: Ferritwerkstoffe. Berlin: Akademie-Verlag 1985

[257] *Weißmantel, Ch.*, u. a.: Atom-Struktur der Materie. Leipzig: VEB Bibliografisches Institut 1970

[258] *Hinz, W.* (Hrsg.): Silicatlexikon. Berlin: Akademie-Verlag 1985

[259] *Hennicke, H. W.*: Grundelemente der Festigkeit und des Bruchverhaltens keramischer Werkstoffe. Handbuch der Keramik, Gruppe III K. Freiburg: Verlag Schmid 1974

[260] *Kröckel, O.*: Beitrag zum Festigkeitsverhalten keramischer Werkstoffe. HTM H 33 (1972), S. 1039–1048

[261] *Kröckel, O.*: Bruchmechanik des Porzellangefüges. HTM 41 (1979) 41, S. 1285–1291

[262] *Dehne, G.*: Bruchmechanische Untersuchungen an Aluminiumoxidkeramik. Silikattechnik 29 (1978) 9, S. 272–276

[263] *Hepworth, M. A.*, u. a.: Fabrication of high-density calcium oxide ceramics. Am. Ceram. Soc. Bull. 43 (1964) 18

[264] *Henze, W.*: Glasuren. Halle: Verlag Wilhelm Knapp 1951

[265] *Shultz, R. L.*, und *Schroth, P. H.*: 1970's review and outlook for the 1980's. Am. ceram. Soc. Bull. 60 (1981) 7, S. 691–692

[266] *Simun, E. A.*, und *Suvorov, S. A.*: Untersuchung schmelzflüssig gegossener feuerfester Magnesiaspinellerzeugnisse (russ.). Ogneupory (1982) 6, S. 40–45

[267] *Luchs, D.*: Der Abgaskatalysator und die Keramik. Keram. Zeitschrift 37 (1985) 6, S. 309–310

[268] *Lachmann, I. M.*, und *McNally, R. N.*: High-temperature monolithic supports for automobile exhaust catalysts. Ceram. Eng. Sci. Proc., Columbus/Ohio, 2 (1981) 5/6, S. 337–351

[269] *Brunklaus, H.*: Industrieofen- und Brennerbau. Essen: Vulkan Verlag 1975

[270] *Standtke, W.*, und *Maier, P.*: Zur Vorgehensweise bei der Auslegung und Konstruktion von Brennern. Silikattechnik 31 (1980) 3, S. 16–19

[271] *Gräfe, W.*: Zur Eichung von Schubstangendilatometern. Silikattechnik 35 (1984) 4, S. 118–120

[272] *Kaiserberger, E.*: Industrielle Anwendungen moderner Dilatometrie – Angewandte chemische Thermodynamik und Thermoanalytik. Basel: Birkhäuser Verlag 1979

[273] *Schultze, D.*: Differentialthermoanalyse. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1971

[274] *Lanitz, W.*: Technologie der gießenden Formgebung in der Feinkeramik. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1985, Best.-Nr. 03 1386 010

[275] *Gebauer, W.*: Kunsthandwerkliche Keramik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1980

[276] *Schlegel, E.*: Möglichkeiten und Grenzen von CaO als feuerfester Baustoff. Silikattechnik 33 (1982) 11, S. 326–327

[277] *Schatt, W.*, *Friedrich, E.*, und *Wieters, K.-P.*: Versetzungsaktiviertes Festphasensintern. Freiberger Forschungshefte B 253. Leipzig: VEB Dt. Verl. für Grundstoffindustrie 1985

[278] *Paret, G.*: Einführung in die wichtigsten Methoden der Dekoration keramischer Oberflächen mit Edelmetallen. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1970

[279] *Brümer, O.*, et al.: Mikroanalyse mit Elektronen- und Ionensonden. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[280] *Heydenreich, I.*, und *Johansen, H.*: Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980

[281] *Picht, I.*, und *Heydenreich, I.*: Einführung in die Elektronenmikroskopie. Berlin: VEB Verlag Technik 1966

[282] *Walter, H.-H.*, und *Hofmann, H.*: Über die Trennung von Lagerstättenton durch Elektrophorese. Silikattechnik 30 (1979) 3, S. 67–70

[283] *Ivers-Tiffée, Th.*: Elektrische Leitfähigkeit von Er-, Gd- und Nd-dotierter CeO_2-Keramik. Diss. Universität Erlangen 1984

[284] *Bohrisch, S.*, *Lahne, K.*, *Möbes, D.*, und *Stuchlik, R.*: Ventilableiter schützen zuverlässig elektrische Anlagen. HTM 60 (1982), S. 1899–1920

[285] *Bürger, R.*: Mechanische Festigkeit und Prüfungen von Implantatwerkstoffen. HTM 62 (1983), S. 1956–1959

[286] *Ullmann, H.*: Keramische Sensoren zur Bestimmung chemischer Größen. Silikattechnik 38 (1987), S. 88–91

[287] *Barthel, I.*: Untersuchungen zur Reinigung von technischem Hydrargillit. HTM 53 (1979), S. 1691–1694

[288] *Pompe, W.*, und *Bohr, H. A.*: Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Keramik durch gezielte Eigenspannungsentwicklung. Silikattechnik 38 (1987), S. 97–101

[289] *Poche, E.*: Porzellanmarken aus aller Welt. Prag: Artia 1975

[290] *Takagi, H.*, u. a.: Eigenschaften eines dichtgesinterten Zirkondioxids. Ber. d. DKG 4/5-85, S. 195–198

[291] *Hammer, H.*, und *Kranz, J.*: Untersuchungen an Porzellanglasuren mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops und der Elektronenmikrosonde. Ber. d. DKG 4/5-86, S. 204 bis 213

[292] *Hennig, E.*: Untersuchungen an stoßbelasteter ferroelektrischer Keramik. HTM 63 (1983), S. 1988–1992

[293] *Hennicke, H. W.*, und *Segerer, H.*: Die Rollermaschine als Bildsamkeitsprüfgerät. Ber. d. DKG 1/85, S. 15–20

[294] *Grünke, U.*, und *Hartmann, P.*: Ionensensitive Festkörpermembran-Elektroden – Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeit. HTM (1978) 51, S. 1619–1654

[295] *Knoch, K.*, u. *Hunold, K.*: Eigenschaften und Anwendungsbeispiele nichtoxidischer sonderkeramischer Werkstoffe. Keram. Zeitschrift 38 (1986) 1, S. 25–28

[296] *Heidenreich, E.*, u. a.: Verarbeitungstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[297] *Nadler, P.*: Ein hocheffektives Modell und Meßverfahren der statischen und quasistatischen Dauerfestigkeit keramischer Werkstoffe. Silikattechnik 30 (1979) 5, S. 153–154

[298] *Pilling, G.*, und *Nowatzky, F.*: Einige Aussagen zur Energiewirtschaft eines Porzellanwerkes. Silikattechnik 28 (1977) 11, S. 327–328

[299] *Storm, W.*, und *Pilling, G.*: Der Gebrauchsenergiebedarf zur Herstellung silikatischer Erzeugnisse. Silikattechnik 38 (1980) 1, S. 3–6

[300] *Schulle, W.*: Möglichkeiten zur Verbesserung der Wärmewirtschaft beim keramischen Brennen unter besonderer Beachtung der Herabsetzung der Prozeßtemperatur. Silikattechnik 35 (1984) 8, S. 243–246

[301] *Maier, P.*: Senkung des Energieeinsatzes in der keramischen Industrie. Baustoffindustrie 23 (1980) 2, S. 18–19

[302] *Beyersdorfer, K.*: Dekorieren mit Farben. In: Handbuch der Keramik. Gruppe I, G 2, S. 1–8, Verlag Schmid 1981

[303] *Litzow, K.*: Keramische Technik. München: Callwey 1984

[304] *Teuchert, K.*: Messung der Weiße und des Farbtons von Proben glasierten Porzellans. Silikat-Journal 7 (1968) 9, S. 261–264

[305] *Petzold, A.*, und *Röhrs, M.*: Beton für hohe Temperaturen. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1966

[306] *Kuntzsch, E.*: Stand der Entwicklung und Anwendung von Feuerbeton in der DDR. Eröffnungsvortrag zum IV. Symposium Feuerbeton Dresden 1981

[307] *Kohl, H.*: Keramische Farben. In: Ullmanns Enzyklopädie, Bd. 9, S. 425–446. Weinheim: Verlag Chemie 1956

[308] *Kleinschmidt, P.*: Einschlußpigmente: Farbkörper nach einem neuen Prinzip. Keram. Zeitschrift 30 (1978), S. 688

[309] *Meißner, R.*: Anforderungen an die Entwicklung keramischer Werkstoffe aus der Sicht des Motorenbaues. Silikattechnik 38 (1987), S. 81–82

[310] *Bulst, H.*: Feuerfestwerkstoffe. 2 Lehrbriefe an der IfEK, Hermsdorf 1980/82

[311] *Pisutova, I.*: Fayencen. Bratislava: Tatran 1981

[312] *Gelsdorf, G.*, und *Schallberg, F.*: Moderne Baustoffe für hohe Temperaturen: Massen, Feuermörtel und Feuerkitt. Ziegelindustrie 28 (1975), S. 436–446

[313] *Schwiete, H.*, und *Konopicky, K.*: Klassifikation und Eigenschaften wärmedämmender Steine. TZ, 4. Beiheft 1967

[314] *Schlegel, E.*, und *Schaarschmidt, G.*: Wärmedämmstoffe auf der Basis von Kalziumsilikat. Silikattechnik 35 (1984) 1, S. 12–14

[315] *Schlegel, E.*: Die hitzebeständigen und feuerfesten Wärmedämmstoffe der DDR. Silikattechnik 35 (1984) 1, S. 17–20

[316] *Harjes, W.*, und *Krasselt, V.*: Energiesenkung durch Anwendung feuerfester und hitzebeständiger Wärmedämmstoffe beim Betrieb von Industrieöfen. Silikattechnik 35 (1984) 1, S. 14–17

[317] *Eisbein, P.*: Keramische Farben und ihr Verhalten in Glasuren. Keram. Zeitschrift 23 (1971), S. 214–217

[318] *Becher, M.*, und *Verworner, O.*: Zur Anwendung moderner Wärmedämmstoffe im Glasofenbau. Silikattechnik 36 (1985) 8, S. 241–244

[319] *Jager, A.*, und Mitarb.: Untersuchungen zu Gefügeänderungen von keramischen Farben bei hohen Temperaturen im Hinblick auf

die Cristobalitbildung. Ber. der DKG 61 (1984) 3, S. 143–147

[320] *Reh, H.*: Zur Klassifizierung der Keramik. Keram. Zeitschrift 38 (1986) 3, S. 128/129

[321] *Klein, G.*: Bildungsbedingungen und Reaktionsverhalten synthetischer alkalihaltiger Flußmittel. Silikattechnik 36 (1985) 10, S. 326

[322] *Beer, A.*: Magnetkeramik. In: Handbuch der Keramik. Gruppe II, J 6, S. 1–7. Freiburg: Verlag Schmid 1972

[323] *Schöps, W.*, und *Beer, H.*: Das Verhalten von Bariumferritpulver bei Wärmebehandlung. Silikattechnik 28 (1977) 7, S. 208–210

[324] *Krupicko, S.*: Physik der Ferrite und verwandter magnetischer Oxide. Braunschweig: Vieweg 1973

[325] *Schöps, W., Beer, H.*, und *Gottwald, H.*: Trokkenmischen bei der Aufbereitung von hartmagnetischen Ferriten. Silikattechnik 27 (1976) 7, S. 235–239

[326] *Thomas, J.*, u. a.: Fluoride content of clay minerals and argillaceous earth materials. Clay and Clay Minerals 25 (1977), S. 278–284 (zitiert in *Scholze/Salmang* [133])

[327] *Müller, W.*, und *Mayer, H.*: Schadstoffemissionen beim Ziegelbrand nach dem Hydritverfahren. Wiss.-techn. Informationen für Bau- und Grobkeramik 4 (1982), S. 4–9

[328] *Helke, G.*: Probleme bei der Entwicklung piezoelektrischer Keramiken für die Elektronik. HTM (1973) 35, S. 1087–1096

[329] *Gesemann, R.*, und *Gesemann, H.-I.*: Die Entwicklung piezoelektrischer Sinterwerkstoffe seit 1955, HTM (1973) 38, S. 1206–1212

[330] *Höffl, K.*: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[331] *Kleber, W., Meyer, K.*, und *Schoenborn, W.*: Einführung in die Kristallphysik. Berlin: Akademie-Verlag 1968

[332] *Edelmann, K.*: Lehrbuch der Kolloidchemie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1962

[333] *Schulle, W., Plüschke, R.*, und *Rudolph, W.*: Die Beeinflussung der keramisch-technologischen Eigenschaften von Kaolinen durch synthetische organische Flockungsmittel. Silikattechnik 33 (1982) 6, S. 178–181

[334] *Kröckel, O.*: Isostatische Fertigung, 4 Lehrbriefe (Wissensspeicher). Sonneberg: VEB Elektrokeramische Werke 1986

[335] *Groß, H.*: Keramische Farben für die Dekoration von Fliesen. Ber. der DKG 54 (1977) 2, S. 43–46

[336] *Nebel, J.*: Zur Mineralogie keramischer Farbkörper. Hermsdorf: Internes Arbeitsmaterial an der IfEK 1986

[337] *Kohl, H.*: Keramische Farben. In: Ullmanns Enzyklopädie, Bd. 9. Weinheim: Verlag Chemie 1956

[338] *Kingery, W. D.*: Ceramic Fabrication Processes. New York/London: John Wiley and sons Inc. 1958

[339] Handbuch der Ferrite des Kombinates VEB Keramische Werke Hermsdorf. Ausgabe 1976

[340] *Lipinski, F.*: Das keramische Laboratorium. 2 Bde. Düsseldorf: Wilhelm Knapp Verlag 1955

[341] *Berdel, E.*: Anleitung zu keramischen Versuchen für Schule und Praxis. Coburg: Verlag des Sprechsaal Müller u. Schmidt 1945

[342] *Nobst, P., Spauszus, S.*, und *Jung, J.*: Stoffliche und verfahrenstechnische Zusammenhänge bei der Herstellung keramischer Folien. Silikattechnik 33 (1982), S. 137–140

[343] *Merker, K.*, und *Prietsch, G.*: Untersuchungen zum Einfluß der Oberflächenrauhigkeit von Substraten auf das Verhalten von Dünnschichtwiderständen. HTM (1973) 35, 36, S. 1111–1114 u. 1131–1134

[344] *Hennicke, H. W.*: Zum theoretischen Energieaufwand beim keramischen Brand; Ber. d. DKG 2/85, S. 92–94

[345] *Kunde, H.*: Mathematisch-statistische Qualitätskontrolle für Feuerfesterzeugnisse. Meißen: VEB Feuerfest-Industrie – Staatlicher Leiter TKO 1977

[346] *Janes, S., He, L.*, und *Majdic, A.*: Der Einfluß von eingelagerten keramischen Fasern auf die thermomechanischen Eigenschaften von ungeformten feuerfesten Erzeugnissen. Keram. Zeitschrift 34 (1982) 9, S. 483–487 und S. 661–663

[347] *Kutzendorfer, J.*, und *Zbuzek, B.*: Schwindung und Phasenänderung feuerfester Fasern bei hohen Temperaturen. Silikattechnik 33 (1982) 11, S. 335/336

[348] *Schüller, K. H.*, und *Jäger, H.*: Chemismus

und Eigenschaften von Feldspaten und deren Auswirkungen in Porzellan. Ber. der DKG 56 (1976) 2, S. 29–35

[349] *Haase, Th.*, und *Schlegel, E.*: Elastische Rückfederungen in trockengepreßtem Ton. Silikattechnik 16 (1965) 2, S. 46–48

[350] *Herrmann, R.*: Ein Beitrag zur Kennzeichnung von Texturen in feinkeramischen Massehubeln. Sprechsaal 97 (1964) 3, S. 61–65

[351] *Rasch, H.*: Feldspat als Flußmittel im keramischen Scherben. Ber. der DKG 54 (1977) 4, GW 1–9

[352] *Piltz, G.*, und *Schmidt, H.*: Über die Sicherung der Frostbeständigkeit sowie die Frostprüfung von Ziegeln und Klinkern. In: Handbuch der Keramik, Gruppe IV, B 2 Ka. Freiburg: Verlag Schmid

[353] *Pabst, R. F.*: Konventionelle Festigkeitsbetrachtungen bei keramischen Werkstoffen und deren Fehlermöglichkeit. Ber. der DKG 54 (1977) 12, S. 392–395

[354] *Hübner, H.*, und *Strobl, W.*: Anwendbarkeit bruchmechanischer Verfahren auf keramische Werkstoffe. Ber. der DKG 54 (1977) 12, S. 401–404

[355] *Pabst, R.*: Neuere Methoden der Festigkeitsprüfung keramischer Werkstoffe. Z. f. Werkstofftechnik 6 (1975) 2, S. 17–29

[356] *Ruhs, G.*: Anmusterungstechnologie als Methode der Steuerung der keramischen Fertigung. Silikattechnik 31 (1981) 4, S. 99/100

[357] *Fickentscher, S.*: Automatische Gießbandanlagen für Sanitärkeramik. Keram. Zeitschrift 27 (1975) 11, S. 585–587

[358] *Paret, G.*: Einführung in die wichtigsten Methoden der Dekoration keramischer Oberflächen mit Edelmetallen. In: Handbuch der Keramik, Gruppe I G1. Freiburg: Verlag Schmid 1971

[359] *Spauszus, S.*: Zur Festigkeitsbestimmung von Glas. Silikattechnik 24 (1973) 8/9, S. 285–287, s. auch [69]

[360] *Vogel, W., Heidenreich, E.*, und *Weiß, H.*: Glaskeramiken hoher Festigkeit und gleichzeitig großer chemischer Beständigkeit, DDR WP 127 577 (1976)

[361] *Lehnhäuser, W.*: Glasuren. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1973

[362] *Engel, F.*: Temperaturmessung mit Strahlungspyrometern. Reihe Automatisierungstechnik Nr. 157, Berlin: VEB Verlag Technik 1974

[363] *Kröckel, O.*: Der Sinterprozeß von Quarzporzellan in der technischen Keramik. Silikattechnik 35 (1984) 4, S. 121–123

[364] *Scholze, H.*: Glas – Glasuren. In: Handbuch der Keramik, Gruppe III, L. Freiburg: Verlag Schmid 1972

[365] *Lehnhäuser, W.*: Zusammensetzung und Anwendung von Glasuren. In: Handbuch der Keramik, Gruppe I F 2. Freiburg: Verlag Schmid 1975

[366] *Hennicke, W.*, und Mitarb.: Haftung silikatischer Glasuren auf nichtoxidischen keramischen Werkstoffen. Ber. der DKG 54 (1977) 9, S. 299–302

[367] *Güntherodt, H.-J.*: Metallische Gläser. Metall 33 (1979) 7, S. 723–726

[368] Anonym: Protokoll über die 1. Fachtagung »Technische Keramik« vom 12. bis 14. Dez. 1984 in Gera, KDT-Bezirksvorstand Gera

[369] *Schöps, W.*: Verfahren der Aufbereitungstechnik: Granulierung – Vorsinterung. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1986, Best.-Nr. 03 138502 2

[370] *Hennicke, H. W.*, und *Gollisch-Szibor, H.*: Mechanische Eigenschaften glasierter keramischer Oberflächen. Ber. der DKG 54 (1977) 2, S. 33–37

[371] *Bühling, D.*: Keramische Halbleiter. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1986, Best.-Nr. 03 1384060

[372] *Haage, R.*: Haldung von Ton – materialökonomischer Aspekt. Baustoffindustrie (1976) 2, S. 25–27

[373] *Ruhs, G.*: Zum Temperaturverlauf in Elektroöfen mit Widerstandheizung. Silikattechnik 33 (1982) 6, S. 271–275

[374] *Munzert, K. H.*: Herdwagenöfen für die Porzellanindustrie. Ber. der DKG 6/7 (1985), S. 320–324

[375] *Hohmann, H., Krüger, H.-G.*, und *Geilich, J.*: Die hydrothermale Verfestigung toniger Massen nach dem Hydritverfahren. Silikattechnik 22 (1971) 4, S. 115–120

[376] *Hohmann, H.*, und *Plüschke, S.*: Inbetriebnahme des Ziegelwerkes Niedertopfstedt – Anwendung des Hydritverfahrens in der Ziegelindustrie. Baustoffindustrie (1981) 2, S. 47–50

[377] *Schade, K.*: Halbleitertechnologie. 2 Bde. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[378] *Leipold, H.*: Trocknung in der Keramik. 2 Lehrbriefe an der IfEK, Hermsdorf 1984, Best.-Nr.: 03 138504 1/2

[379] *Werkmeister, G.*: Das h,x-Diagramm und seine Anwendung in der Trocknungstechnik. In: Grundlagenwissen für die Praxis, GW 7 Dt. Ker. Ges. 57 (1980) 4/5

[380] *Leutwein, F.*, und *Sommer-Kulaszewski, Ch.*: Allgemeine Mineralogie. Freiberg: Bergakademie-Fernstudium 1960

[381] *Glien, W.*: Technische und biomechanische Prüfung von Hüftgelenken. HTM 62 (1983), S. 1964–1966

[382] *Ziller, R.*: Umgang mit keramischen Implantaten. HTM 62 (1983) S. 1971–1973

[383] *Röttenbacher, R.*: Mechanische Eigenschaften von Konstruktionskeramik – Werkstoffkennwerte, Bauteileigenschaften, Bauteilprüfung. Berichte der DKG 2 (1985) S. 95–97

[384] *Verworner, O.*: Qualitätskriterien feuerfester aluminiumsilikatischer Fasern. Silikattechnik 36 (1985) 11, S. 355–357

[385] *Staudt, W.*, und *Maier, P.*: Untersuchungen zur Abgasenthalpienutzung an keramischen Brennaggregaten mittels Regeneratoren mit feststehender Speichermasse. Silikattechnik 36 (1985) 12, S. 386–388

[386] *Seifert, H.*, und *Schlegel, E.*: Hydrothermale Härtung zur Herstellung ungebrannter, hitzebeständiger und feuerfester Baustoffe, Silikattechnik 36 (1985) 7, S. 209–212

[387] *Petzold, A.*, und *Ulbricht, J.*: Verbund- und Kompositwerkstoffe der Silikattechnik, Begriffe, Wesen, Besonderheiten. Silikattechnik 33 (1982) 4, S. 118–120

[388] *Brückner, M., Hanella, K.*, und *Stegner, H.*: Klebetechnik bei der Fertigung keramischer Apparateporzellane. HTM 67 (1985), S. 2114–2116

[389] *Horte, C.-H.*, und Mitarb.: Neuartige dichte keramische Werkstoffe mit Sintertemperaturen unter 1000 °C. HTM 47 (1977), S. 1486–1490

[390] *Heidenreich, E.*, und Mitarb.: Verarbeitungstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[391] *Weiß, S.*, und Mitarb.: Thermische Verfahrenstechnik I. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[392] *Walter, P.*, und *Langner, M.*: Hochtemperaturkeramik für Verbrennungskraftmaschinen. MTZ 44 (1983) 6, S. 225–229

[393] *Gugel, E.*: Keramische Konstruktionswerkstoffe für den Motorenbau. Keram. Zeitschrift 36 (1984) 9, S. 477–479

[394] *Storm, W.*: Technologische Möglichkeiten zur energiewirtschaftlichen Fahrweise von Trocknern für feinkeramische Artikel. Freiberger Forschungshefte A 727 (Vorträge zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 1984). Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[395] *Dressel, H.*: Eine Systematik für das Fachgebiet Keramik. Silikattechnik 30 (1979) 2, S. 55/56

[396] *Skaupy, F.*: Metallkeramik. Weinheim: Verlag Chemie 1950

[397] *Schatt, W.* (Hrsg.): Pulvermetallurgie, Sinter- und Verbundwerkstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[398] *Luxem, W., Wöttrig, G.*, und *Ziegler, G.*: Entwicklung von drucklos gesintertem Si_3N_4 unter Zusatz von Y_2O_3 und Al_2O_3. Z. Werkstofftechnik 13 (1982), S. 221/222

[399] *Claussen, N.*: Umwandlungsverstärkte keramische Werkstoffe. Z. Werkstofftechnik 13 (1982), S. 138–147 und 185–196

[400] *Leucht, R.*, und Mitarb.: Thermoermüdungsverhalten von Si_3N_4. Z. Werkstofftechnik 13 (1982), S. 223/224

[401] VEB Thuringia Sonneberg, Kombinat für Glas- und Keramikmaschinenbau: Werksunterlagen

[402] *Fitzer, E.*, und *Kochling, K.-H.*: Erarbeitung von Standardisierungsmethoden zur Messung des Graphitisierungsgrades technischer Werkstoffe. Ber. der DKG 61 (1984) 8, S. 261–272

[403] *Ricke, W.*: Kondensatorkeramik. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmid 1981 (Beilage zur Keram. Zeitschrift)

[404] *Okazaki, K.*: Technologija kersmiceskich dielektrikov. Moskva 1976

[405] *Boldyrev, V.*, und *Meyer, K.*: Festkörperchemie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[406] *Bünsing, C. M., Zöllner, Ch.*, und *Heinke, G.*:

Biokeramik. Ber. der DKG 61 (1984) 3, S. 185–189

[407] *Böhme, W.*: Kurzzeit-Zugbruchlast von Langstabisolatoren im Temperaturbereich −70 bis +90 °C. HTM (1966) 17, S. 515–517

[408] *Illig, H.-J.* (Hrsg.): ABC Glas. Leipzig: VEB Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie 1984

[409] *Nitzsche, K.*, und *Ullrich, H. J.*: Funktionswerkstoffe der Elektrotechnik und Elektronik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[410] *Scholz, K. P.*: Mikroelektronik und deren Bauelemente. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[411] *Weyl, D.*: Über den Einfluß innerer Spannungen auf das Gefüge und die mechanische Festigkeit des Porzellans. Ber. der DKG 36 (1959) 10, S. 319–324

[412] *Storch, W.*, *Ruf, H.*, und *Scholz, H.*: Mikrorißbildung und Festigkeit quarzhaltiger Tonkeramik. Ber. der DKG 61 (1984) 7, S. 335–342

[413] Prospekt der Fa. Bosch-AG, Stuttgart

[414] *Bühling, D.*, und *Grützmann, D.*: Keramische Sensoren. HTM (1985) 68, S. 2149–2151

[415] *Ullmann, H.*: Beziehungen zwischen Eigenschaften und Anwendungen von Oxidionenleitern. HTM (1986) 69, S. 2205–2212

[416] *Hoer, H.*, und *Kanthak, F.*: Stand der Entwicklung und Anwendung hitzebeständiger und feuerfester Betone in der DDR. Silikattechnik 36 (1985) 7, S. 202–204

[417] *Däßler, H.-G.*: Einfluß der Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Jena: VEB Gustav Fischer-Verlag 1976

[418] *Schneider, H. G.*, und *Häßner, H.*: Hybridtechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1977

[419] *Puschmann, G.*, und *Drath, R.*: Grundzüge der technischen Wärmelehre. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1984

[420] *Pawlowski, S.*, *Hyenar, I.*, und *Serkowski, S.*: Ein neuartiger Rohstoff zur Herstellung von Wärmedämmstoffen. Silikattechnik 33 (1982) 11, S. 339/340

[421] *Tomandl, G.*, und *Stiegelschmitt, A.*: Herstellung elektrokeramischer Pulver durch chemische Abscheidung aus Lösungen. Ber. der DKG 2 (1985), S. 73–75

[422] *Joger, A.*: Die Herstellung synthetischer keramischer Roh- und Werkstoffe durch naßchemische Verfahren. Silikattechnik 30 (1979) 8, S. 242–245

[423] *Löffler, W.*, und *Seifert, E.*: Untersuchungen zur Effektivität von Enteisenungsverfahren bei keramischen Rohstoffen und Massen. Silikattechnik 36 (1985) 10, S. 323–326

[424] *Scheibe, W.*, *Bernhardt, C.*, und *Winkler, E.*: Untersuchungen zur Bestimmung der Mahlbarkeit und der Größe von Rohrmühlen. Aufbereitungstechnik 9 (1968) 11, S. 574 bis 582

[425] *Kirsch, H.*: Technische Mineralogie. Würzburg: Vogel-Verlag 1966

[426] *Heidenreich, E.* (Hrsg.): Verarbeitungstechnik (Lehrwerk Verfahrenstechnik). Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1977

[427] *Tribius, V.*: Mauerwerkstechnische Parameter kleinformatiger Wandbaustoffe. Institut für Bau- und Grobkeramik Weimar 1986

[428] *Dettweiler, G.*: Feststoffmischer, eine Ordnungsstudie im Rahmen einer experimentellen Untersuchung über Vermengen von körnigen Stoffen. Aufbereitungstechnik 7 (1966) 4, S. 192–206

[429] *Stange, K.*: Die Mischgüte einer Zufallsmischung als Grundlage zur Beurteilung von Mischversuchen. Chem.-Ing.-Technik 26 (1954) 6, S. 331–337

[430] *Stange, K.*: Die Mischgüte einer Zufallsmischung aus drei und mehr Komponenten. Chem.-Ing.-Technik 35 (1963) 9, S. 580 bis 582

[431] *Stange, K.*: Genauigkeit der Probenahme bei Mischungen körniger Stoffe, Einfluß des Gewichts von Einzelproben. Chem.-Ing.-Technik 39 (1967) 9/10, S. 585–592

[432] *Halbauer, K.*: Keramische Maschinenkunde. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1979, Best.-Nr.: 03 1383010

[433] *Robel, H.*: Lehrbuch der chemischen Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1967

[434] *Brückner, W.*, und Mitarb.: Metall-Isolator-Übergang des VO_2 und Möglichkeiten seiner Technischen Anwendung. HTM 53 (1980), S. 1695–1700

[435] *Ulbricht, J.*, *Petzold, A.*, und *Gehre, G.*: Bemer-

kungen zu neuen Dentalwerkstoffen auf der Basis von Metall-Email-Kompositen. Silikattechnik 33 (1982) 9, S. 178/179

[436] *Heldt, G.*, und *Heinke, G.*: Kinetik und Mechanismus der Haftfestigkeit bei lotfreien Metall-Keramik-Verbindungen. Ber. der DKG 50 (1973) 9, S. 303–307

[437] *Bulst, H.*: Keramische Werkstoffkunde – Glasuren. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1979, Best.-Nr.: 03 1381020

[438] *Ernst, Th., Forkel, W.*, und *v. Gehlen, K.*: Vollständiges Nomenklatursystem der Tone. Ber. der DKG 36 (1959), S. 11–18

[439] *Kromer, H.*, und *Schüller, K.-H.*: Die Anwendung des Nomenklatursystems nach *Ernst, Forkel* und *v. Gehlen* auf keramische tonige Rohstoffe unter Würdigung der Bedeutung scheinbar untergeordneter Mineralphasen. Ber. der DKG 52 (1975), S. 345–349

[440] Autorenkollektiv: Fachlexikon Meßtechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag Leipzig 1984

[441] Kombinat VEB Carl Zeiss JENA: Bedienungsanleitung zum Lichtschnittgerät, Tastschnittgerät.

[442] VEB Prüfgeräte-Werk Medingen, Sitz Freital: Bedienungsanleitung zum Rheotest

[443] *Hofmann, D.*: Handbuch der Meßtechnik und Qualitätssicherung. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[444] *Wolf, K. L.*: Physik und Chemie der Grenzflächen. Berlin: Springer-Verlag 1957

[445] *Dornemann, A.*: Bestimmung der Oberfläche feinverteilter und poriger Substanzen. In: Ullmanns Enzyklopädie, Bd. 3. Weinheim: Verlag Chemie 1956

[446] *Edelmann, Ch.*: Vakuumtechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1985

[447] *Rutscher, A.*, und *Deutsch, H.*: Plasmatechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1983

[448] *Heisig, U.*, und Mitarb.: Metallisierung von Kondensatorkeramik durch Hochratezerstäubung. Nachrichtentechnik Elektronik 32 (1984) 3, S. 101–104 und 110–113

[449] *Grigorev, A. I., Dorodnov, A. M.*, und *Kisilev, M. O.*: In: Technologija avtomobilestroenija 6 (1978), S. 10–23

[450] *Hofmann, M.*: Untersuchungen zum aktivierten Sintern von Molybdän. Diss. TU Berlin 1985

[451] *Kotowski, J.*, und *Muschowek, J.*: Über die Haftfestigkeit von Metallisierung auf Keramiken. Vakuumtechnik 10 (1961), S. 141

[452] *Stark, K.*: Piezokeramische Werkstoffe: In: Handbuch der Keramik, Gruppe II J 7. Freiburg: Verlag Schmid

[453] *Helke, G.*: Piezokeramische Werkstoffe und deren praktische Anwendung. Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg 1981 (49 (09))

[454] *Kraemer, E.*: Sächsisch-thüringisches Manufakturporzellan. Berlin: VE Außenhandelsbetrieb Glas/Keramik der DDR 1984

[455] *Fischer, R.*: Moderne Farbkörper für Dekoration. Keram. Zeitschrift 38 (1986) 7, S. 365–367

[456] *Wiedenbeck, G.*, und *Burkhardt, Ch.*: Einsatz des Penetrometers in der keramischen Industrie. Silikattechnik 25 (1974), S. 280

[457] *Geyer, A.* jr., *Böhlen, B.*, und *Guyer, A.*: Über die Bestimmung von Porengrößen. Helvetica chimica acta, Volumen XLII, Fasciculus sextus (1959), S. 2104–2110

[458] *Wiegmann, I.*, u. a.: Einfluß der Brennbehandlung auf Gefügeaufbau und Eigenschaften von Isolationsporzellan. Kolloquium Aktuelle Grundlagenprobleme keram. Werkstoffe, Berlin 18./19. Jan. 1978

[459] *Kröckel, O.*: Der Einfluß der Porosität auf die mechanische Festigkeit von keramischen Werkstoffen. Silikattechnik 23 (1972) 3, S. 83–87

[460] *Schüller, K.*: Porzellan. In: Handbuch der Keramik. Coburg: Sprechsaal (1964)

[461] *Bürger, W.*, und *Heidel, M.*: Kombination von sedimentationsanalytischen und elektronenoptischen Verfahren zur Pulveruntersuchung. HTM 68 (1986) S. 2175–2179

[462] *Melzer, D.*: Isostatisches Pressen keramischer Pulver und Körnungen. Freiberger Forschungshefte A 626. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1980

[463] *Pijewski, I. M., Gretschina, W. W.*, u. a.: Suschka keramitscheskich stroimaterialow. Kiew: Naukowa Dumka 1985

[464] *Demidenko, L. M.*, und *Polonskij, Ju. A.*: Elektroprowodnistj, ogneupornich materialow. Moskva: Metallurgija 1985

[465] *Blankenburg, H. J.*: Quarzrohstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

[466] *Joger, A.*: Hochtechnologien in der Technischen Keramik. Literaturbericht, Leitstelle für wiss.-techn. Dokumentation im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf (April 1986)

[467] *Erben, E.*, und *Steigenberger, R.*: Beitrag zur Technologie des Reaktionsdrucksinterns. Ber. der DKG 54 (1977) 9, S. 303–305

[468] *Wannie, W.*: Über Reduktionsglasuren. Glas-Email-Keramo-Technik 6 (1966), S. 211–218 und 7 (1966), S. 256–259

[469] Autorenkollektiv: Verfahrenstechnik Beschichten. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1986

[470] *Elsner, N.*: Grundlagen der technischen Thermodynamik. Berlin: Akademieverlag 1973

[471] *Grün, R.*: Steinzeugbrand im Rollenofen mit 320 kcal/kg. Keram. Zeitschrift 38 (1986) 1, S. 20/21

[472] *Sladek, R.*: Schnellbrandmöglichkeiten in der keramischen Industrie. Keram. Zeitschrift 38 (1986), S. 304–309

[473] *Ulbricht, J.*: Einsatz von Kaolin in der Feuerfestindustrie. Freiberger Forschungshefte A 680. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1983

[474] *Trawinski, J.*: Naßaufbereitung von Kaolin. In: Handbuch der Keramik. Freiburg: Verlag Schmidt 1979

[475] *Pabst, R.*: Neuere Methoden der Festigkeitsprüfung keramischer Werkstoffe. Z. f. Werkstofftechnik 6 (1975) 1, S. 17–29

[476] *Rumpf, H.*: Struktur der Zerkleinerungswissenschaft. Aufbereitungs-Technik 7 (1966) 8, S. 421–435

[477] *Dietzsch, L.*: Beitrag zum Glasieren von rohen und geglühten feinkeramischen Scherben – insbesondere von isostatisch gepreßten Rohlingen. Diss. BA Freiberg (1973)

[478] Prospekt der Norton GmbH, Wesseling, BRD 5047

[479] Anonym: Reportage der Rosenthal-Keramikproduktion in Kronach. Keram. Zeitschrift 38 (1986) 9, S. 525/526

[480] *Bühling, D.*, und *Grützmann, D.*: Keramische Sensoren. HTM (1985) 68, S. 2149–2151

[481] *Sladek, R.*: Technische Keramik aus der Sicht des Ofenbauers. cfi/Ber. der DKG 6 (1986), S. 311–316, 7/8 (1986), S. 416–421

[482] *Krismer, B.*, und *Schwier, G.*: Entwicklung und Herstellung verbesserter Alpha-Phase-Siliziumnitridpulver für das Heißpressen und Sintern. Forschungsbericht T 84 – 208, Bundesministerium für Forschung und Technologie

[483] *Lehmann, L.*, und *Mostetzky, H.*: Zur Kennzeichnung der Saugfähigkeit von Gipsformen. Ber. der DKG 38 (1961), S. 567–569

[484] *Herrmann, H.-J.*: Zum Problem der Schadstoffabgabe keramischer Dekorationen. Silikattechnik 25 (1974) 4, S. 125–136

[485] *Herrmann, H.-J.*: Schadstoffabgabe keramischer Bedarfsgegenstände. Die Nahrung 22 (1978) 2, S. 199–205

[486] *Herrmann, H.-J.*: Schadstoffabgabe keramischer Glasuren und Dekorationen, Zusammenstellung der gesetzlichen Bestimmungen der Prüf- und Analysenvorschriften verschiedener Länder. Silikattechnik 26 (1975) 5, S. 165/166 (erschienen in Fortsetzungen)

[487] Autorenkollektiv: Röntgenfluoreszenzanalyse. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1988

[488] Autorenkollektiv: Analytikum. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1987

[489] *Funk, W.*: Dickschichttechnologie. Philips techn. Rundschau 35 (1975/76) 5 S. 156–162

[490] *Geiß, W.*: Beschichtungsverfahren in der keramischen Industrie. Internes Arbeitsmaterial an der IfEK, Hermsdorf I 1987

[491] *Britsch, H. B.*: Die Keramik der Schleifscheiben. Ber. d. DKG 53 (1976) 5, S. 143–149

[492] *Sharma, K. K.*: Superfinishen – ein modernes Feinbearbeitungsverfahren. Ber. der DKG 53 (1976) 5, S. 149–154

[493] *Eckstein, E.*, *Jähnig, M.*, und *Werner, R.*: Schleiftechnischer Ratgeber. Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[494] *Tränkner, G.*: Taschenbuch Maschinenbau. Bd. 3/III Arbeitsmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

[495] *Schlegel, M.*, und *Kunze, H.*: Verfahrenstechnik. Nachbearbeitung: Schleifen von Keramik. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1987

[496] *Harkort, D.*: Vorteile, Grenzen und Zukunftsaspekte des keramischen Schnellbrandes. Glas-Email-Keramotechnik 22 (1971), S. 18–22

[497] *Mörtel, H.*: Entwicklung des Gefüges in einem Schnellbrandporzellan (Zwei-Stunden-Brand). Ber. der DKG 55 (1978) 2, S. 59–61

[498] *Mörtel, H.*: Schnellbrandporzellan – Möglichkeiten und Grenzen. Ber. der DKG 59 (1982) 5/6, S. 289–298

[499] *Mörtel, H.*: Hochfestes und temperaturwechselbeständiges technisches Schnellbrandporzellan. cfi/Ber. der DKG 63 (1986) 1/2, S. 9–19

[500] *Ruhs, G.*: Erfahrungen beim Schnellbrand technischer Keramikbauteile mit periodischen Öfen. Silikattechnik 35 (1984) 4, S. 115–118

[501] *Schulle, W.*, und *Hintzen, U.*: Betrachtungen zum Schnellbrand von Außenwandkeramik. Silikattechnik 31 (1980), S. 100–103

[502] *Planz, E.*: Schnellbrandöfen in der keramischen Fliesenindustrie. cfi/Ber. der DKG 1 (1981), S. 10–12

[503] *Streubel, H.*: Zur Berechnung von Fremdschicht-Stehwechselspannungen. HTM 70 (1986), S. 2237–2242

[504] *Schlegel, E.*: Beziehungen zwischen Schwindung, Zugabe und Rohdichte. Sprechsaal 102 (1969), S. 225–227

[505] *Seifert, H.*, und *Wemme, H.*: Die Spaltzugfestigkeit – eine geeignete Methode zur Prüfung feuerfester Baustoffe. Silikattechnik 29 (1978) 6, S. 181–184

[506] Prospekte der Fa. Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb

[507] *Lagna, W.*: Zum gegenwärtigen Stand der Bildungskinetik von Spinellen. Ber. der DKG 55 (1978) 3, S. 174–179

[508] *Heuschkel, H.*: Das Mikroskop im Dienste der Keramik. HTM 2 (1960), S. 29–34

[509] *Stark, Ch.*: Die Prüfbarkeit des Verschleißverhaltens von Siliciumcarbidschleifscheiben mit keramischer Bindung. München: Carl Hanser-Verlag 1985

[510] *Routschka, G.*: Die feuerfesten Rohstoffe zur Herstellung von Schamotte und tonerdereichen feuerfesten Erzeugnissen – ein Überblick. Ziegelindustrie 34 (1981) S. 690–699

[511] Werksinformationen in HTM 70 (1986), S. 2251

[512] *Harbach, F.*, und *Weiler, L.*: Gefügeinhomogenitäten – Ursachen und Reduzierungsmöglichkeiten. Ber. der DKG 3 (1986), S. 107–113

[513] *Rabe* und *Linke*: Nitridkeramik vom Typ SIMON (M = Metalle Al, Mg, Y u. a.). Vortrag 2. Fachtagung Technische Keramik 14. bis 16. 4. 1987 in Gera

[514] *Joger, A.*: Hochtechnologie in der Technischen Keramik. Silikattechnik 38 (1987) 3, S. 85–88

[515] *Zvolska, H.*, und *Wendler, L.*: Exakte Temperaturmessung nach dem Schmelzpunkt chemisch reiner Substanzen. Silikattechnik 33 (1982) 7, S. 211/212

[516] *Langbein* und *Hooth, P.*: Zum Einsatz von Kalzit und Anhydrit als Trübungsmittel für feinkeramische Glasuren im Temperaturbereich 900 bis 1100 °C. Silikattechnik 37 (1986) 3, S. 97–99

[517] *Hennicke, H. W.*, und *Lingenberg, W.*: Bildung und Zerfall von Aluminiumtitanat. Ber. der DKG 9/10 (1985), S. 439–444

[518] *Junghans, W.*, *Wilberg, R.*, *Liebmann, H.*, und *Schmidt, H.-J.*: Dekorative Beschichtung von keramischen Erzeugnissen auf der Basis von gold- und platinfarbenen Titannitriddünnschichten im Hochvakuum. Silikattechnik 33 (1982) 12, S. 365

[519] *Heuschkel, H.*, und *Schröder, H.*: Anwendung der Thermogravimetrie auf Probleme der Reaktionskinetik fester Körper. Silikattechnik 16 (1965), S. 393–395

[520] *Glien, W.*: Gegenwärtiger Entwicklungsstand bioinerter Keramikimplantate. HTM 73 (1987), S. 2313–2315

[521] *Kettrup, A.*: Thermogravimetrie – Differentialthermoanalyse. Analytiker-Taschenbuch, Bd. 4. Heidelberg: Springer-Verlag 1984

[522] *Michels, K.*: Verfahrenstechnische Nachbearbeitung. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1985, Best.-Nr. 03 1385 05 3

[523] *Exner, B.*, und *Bartke, K.*: Neue Überspannungsableiter für Mittelspannungsnetze. HTM 50 (1978), S. 1602–1606

[524] *Bühling, D.*, *Fischer, W.*, und *Hilarius, V.*: Keramische Halbleiterwerkstoffe, Gefügeausbildung und elektrische Eigenschaften. HTM 26 (1986) 70, S. 2221–2226

[525] *Einzinger, R.*: Dotierungseffekte in Metalloxid-Varistoren. Ber. der DKG 55 (1978) 6, S. 329

[526] *Leipold, H.*: Das Sintern keramischer Massen. Lehrbrief an der IfEK, Hermsdorf 1980, Best.-Nr. 03 1382 01 0

[527] *Krell, A.*, und Mitarb.: Die Strukturabhängigkeit des mechanischen Verhaltens von (Al_2O_3 + ZrO_2)-Keramik. Silikattechnik 38 (1987) 3, S. 95–97

[528] *Pompe, W.*, und *Bahr, H. A.*: Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Keramik durch gezielte Eigenspannungsentwicklung. Silikattechnik 38 (1987) 3, S. 97–102

[529] *Dawihl, W.*, u. a.: Zusammenhänge zwischen Verschleißwiderstand und Eigenschaften von Sinterkörpern auf Al_2O_3-Grundlage. Ber. der DKG 46 (1969), S. 273–280

[530] *Nadler, P.*: Die Anwendung der statistischen Festigkeitstheorie in der keramischen Werkstoffprüfung. HTM (1972) 33, S. 1031 bis 1038

[531] *Kröckel, O.*: Beitrag zum Festigkeitsverhalten keramischer Werkstoffe. HTM (1972) 33, S. 1039–1052

[532] *Grunert, L., Schöps, W.*, und *Lübke, M.*: Granulierung von Materialien in der technischen Keramik. Silikattechnik 31 (1980), S. 235–237

[533] *Lundin, S. T.*: Studies on triaxial whiteware bodies. Diss. Royal Inst. Stockholm 1959

[534] *Striegel, H., Schöps, W.*, und *Lübke, M.*: Reaktionssintern oxidkeramischer Mischungen mit dem Wirbelschichtverfahren. Silikattechnik 28 (1977) 9, S. 260–263

[535] *Nadler, P.*: Die Anwendung der statistischen Festigkeitstheorie in der keramischen Werkstoffprüfung. HTM 40 (1974) S. 1262–1271

[536] *Evans, A. G.*, und *Wiederhorn, S. M.*: Proof testing of ceramic materials – an analytic basis for failure prediction. Int. Journ. of Fract. 10 (1974), S. 379–392

[537] *Nadler, P.*, und *Erfurt, F.*: Statistische Auswertung von Meßergebnissen nach der *Weibull*schen Verteilungsfunktion. HTM 31 (1971), S. 966–973

[538] *Storm, R.*: Wahrscheinlichkeitstheorie, mathematische Statistik, statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1968

[539] *Artelt, P.*: Feuerfeste Baustoffe in der Stahlindustrie. Ber. der DKG 50 (1974) 4, S. 103–107

[540] *Reh, H.*: Die Hochleistungskeramik. II Werkstoffe, KZ 38 (1986) 10, S. 600–605

[541] *Claussen, N.*, und *Jahn, J.*: Umwandlungsverhalten von ZrO_2-Teilchen in einer keramischen Matrix. Ber. der DKG 55 (1978) 11, S. 481–491

[542] *Babuschkin, W. I.*, und Mitarb.: Termodinamika silikatow. Moskva: Strojisdat 1986

[543] *Knehaus, R.*: Charakterisierung des Bruchverhaltens von reinem Aluminiumoxid. Fortschrittsberichte des VDI, Reihe 18, Nr. 16 (1984)

[544] *Borrmann, F.*, und Mitarb.: Rationelle Oberofenzustellungen mit Montageelementen aus hitzebeständigem Stahlbeton. Silikattechnik 38 (1978) 4, S. 115–122

[545] *Kern, H.*, und Mitarb.: Bemessungsgrundlagen für hitzebeständige Stahlbetonelemente. Silikattechnik 38 (1987) 4, S. 135–137

[546] *Geguzin, Ja. E.*: Wie werden aus Pulvern kompakte Werkstoffe? Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1981

[547] *Neumann, W.*: Verwendung feuerfester Baustoffe. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1964

[548] *Stiegler, R.*: Das Töpferhandwerk im Altertum und in der Neuzeit. Internes Arbeitsmaterial an der IfEK, Hermsdorf 1980

[549] *Schlegel, E.*: Wasser und wäßrige Lösungen im hydrothermalen Zustand. Silikattechnik 31 (1980) 11, S. 324–327

[550] *Franck, E. U.*: Hydrothermale Lösungen im Gleichgewicht mit festen Stoffen. Ber. der DKG 41 (1964) 2, S. 43–51

[551] Autorenkollektiv: Klassisches Meissen – Eine Information über das Wirken des VEB Staatliche Porzellan-Manufaktur Meissen anläßlich des 275. Jahrestages der Gründung der Manufaktur (Festschrift des Werkes)

[552] *Rotsche, J.*: Keramische Farbkörper auf der Basis von Zirkoniumsilikat. Silikattechnik 37 (1986) 10, S. 350–355

[553] Feuerfeste Stoffe im Stranggießbereich. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH 1982

[554] *Ruz, P.*: Yttriumstabilisiertes Zirkonoxid: Sinterfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit in Glasschmelzen. Diss. Techn. Universität Erlangen–Nürnberg 1985

[555] *Müller, G.*: Untersuchungen zur Realisierung

von ZnO-Dickschichtvaristoren. Internes Arbeitsmaterial an der IfEK, Hermsdorf III/ 1987

[556] *Lindner, H. A.*: Bestimmung der Festigkeit keramischer Bauteile aus den mechanischen Daten des Werkstoffes. Ber. der DKG 64 (1987), S. 74–79

[557] *Gelsdorf, G.*, und *Jeschke, P.*: Ungeformte feuerfeste Erzeugnisse – Einsatz und Entwicklungstendenzen. Ber. der DKG 64 (1987) 3/4, S. 90–93

[558] *Pavluškin, N. M.*: Vitrokeramik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986

[559] *Michaelis, H.*: Die Meißner Blauen Schwerter – Gütesiegel von Weltruf. Silikattechnik 36 (1985) 6, S. 185/186

[560] Feuerfeste Stoffe in der Sekundärmetallurgie. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH 1984

[561] *Koschlig, T.*, und *Damaschuhn, F.*: Zur röntgenfraktometrischen Ermittlung des Phasenbestandes plasmagespritzter ZrO_2/CaO-Schichten. Silikattechnik 38 (1987) 1, S. 30–33

[562] Didier Feuerfest Technik: Feuerfeste Baustoffe und ihre Eigenschaften. Wiesbaden: Didier-Werke 1974

[563] *Berger, I.*, und Mitarb.: Veränderungen im Phasenbestand bei der Sinterung von Porzellan. Silikattechnik 30 (1979) S. 195–201

[564] *Völker, E.*: Neue Palette farbiger Glasuren. KZ 39 (1987) 8, S. 514/515

[565] *Bednarz, J. G.*, und *Müller, K. A.*: Supraleitung. Zeitschrift für Physik B 64 (1986), S. 189

[566] *Wiedmer, H.*: Angewandte Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[567] *Drechsler, S. L.*, und *Mrosan, E.*: Hochtemperatur-Supraleitung. Wissenschaft und Fortschritt 37 (1987), S. 232–236

[568] *Hilarius, V., Granse, G.*, und *Bühling, D.*: Gefügeausbildung in Y-Ba-Cu-O-Keramik. (persönliche Mitteilung: Jan. 1988)

[569] *J – Wei Chen*, und *Keating, S.*: Superconductivity and the failing of lattice parameters of the compound $YBa_2Cu_3O_x$. Advanced ceramic materials. Vol. 2, No. 38, Special Issne (1987), S. 457–470

[570] *Besskow, S. D.*: Technisch-chemische Berechnungen. Berlin: Verlag Technik 1952

[571] *Mcedlov-Petrosjan, O. P.*: Thermodynamik der Silikate. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1966

[572] Anonym: Trockenpressen – die neue Technologie zur Herstellung von Flachgeschirr in der feinkeramischen Industrie. Ber. der DKG 6/7 (1985), S. 325–327

[573] *Habig, K. H., Evers, W.*, und *Hintermann, H. E.*: Tribologische Prüfungen an Oberflächenschichten aus Titancarbid, Titannitrid, Chromcarbid und Eisenborid. Z. Werkstofftechnik 11 (1980), S. 182–190

[574] *Schubert, H.*, u. a.: Mechanische Verfahrenstechnik, I. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1977

Anhang

Abkürzungen aus der Keramik und angrenzenden Elektronik

zusammengestellt von
Inf.-Ing. *Albrecht Joger*, Fachinformator für Keramik, im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf, Leitstelle für wissenschaftlich-technische Information.
In der internationalen Fachliteratur werden ständig mehr Abkürzungen ohne Erklärung ihrer Bedeutung verwendet. Diese Kürzel sind meist nur den unmittelbar mit dieser Materie Beschäftigten geläufig. Die nachfolgende Zusammenstellung will sie einem breiteren Leserkreis erschließen.

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
ABN	Abrasive boron nitride (engl.) – Bornitrid-Schleifmittel
ABN	Amber boron nitride (engl.) – Bornitrid »Amborite« (Warenzeichen der Fa. De Beers)
AC	Advanced ceramics (engl.) – moderne keramische Werkstoffe (Oxide, Nitride, Carbide ...)
ADV	Ammoniumdiuranatverfahren (Pulverherstellung)
AE	Acoustic emission (engl.) – Schallemission (s. a. SEA)
AES	Atomemissionsspektrometrie (engl.: ESA)
AES	Auger electron spectroscopy (engl.) – Elektronenspektroskopie nach Auger
AGT	Advanced gas turbines (engl.) – moderne Gasturbinen
ALNICO	magnetischer Werkstoff (Hauptbestandteile: Al, Ni, Co)
ALON	Aluminium-Oxynitrid – keramischer Hochtemperatur-Werkstoff
ALUDENS	Alumine high density (engl.) – Mahlkörper aus dichtem Al_2O_3
ANW	anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe
AOW	akustische Oberflächenwellen
APS	Average particle size (engl.) – durchschnittliche Korngröße
ASF	Area sensitivity factor (engl.) – Korrekturfaktor (z.B. bei ESCA)
ASUTP	Avtomatičeskaâ sistema uprâvleniâ-technologičeskimi processami (russ.) – automatisches Kontrollsystem technologischer Prozesse (s. a. KSUKP)
AUC	Ammoniumuranylcarbonatverfahren – Verfahren zur Herstellung synthetischer Feinpulver
AZS	Alumina zirconia and silica (engl.) – feuerfeste Werkstoffgruppe (Al_2O_3, ZrO_2, SiO_2)
BET	Verfahren zur Messung der Pulveroberfläche nach *Brunauer, Emmelt* und *Teller*
BeV	Billion electron volt (engl.) – Milliarde Elektronenvolt (in USA)
BFI	Brittle fracture index (engl.) – Sprödbruchindex
BH	Brinell hardness (engl.) – *Brinell*härte
BHN	Brinell hardness number (engl.) – *Brinell*-Härtezahl
BLTN	Barium-Lanthan-Titanat-Niobat-Keramik (lanthandotierte Bariumtitanatkeramik)
BTN	Barium-Titanat-Niobat-Keramik (transparente optoelektrische Keramik)
BZN	Barium zinc niobate (engl.) – Barium-Zink-Niobat-Keramik
Ca-PSZ	Partially stabilized calcia-zirconia alloy (engl.) – teilstabilisierte Calcium-Zirconiumoxid-Verbindung
CAA	Chromic acid anodize process (engl.) – Chromsäureanodisieren (Beschichtungsverfahren, z.B. Al_2O_3 auf Al-Blech)
CAC	Calcium-aluminate cement (engl.) – Calcium-Aluminat-Zement
CFC	Cubic face centered (engl.) – kubisch flächenzentriert
CIP	Cold isostatic pressing (engl.) – kaltisostatisches Pressen
CMB	Cylindrical magnetic bubbles (engl.) – zylindrische magnetische Domänen (s. a. ZMD)

CMC Ceramic multilayer capacitor (engl.) – Keramik-Vielschichtkondensatoren
CMC Carboxyl-Methylcellulose – wasserlösliches Bindemittel
CPS Cycles per second (engl.) – Zyklen je Sekunde = Hertz (Hz)
CSD Controlled spray deposition (engl.) – gesteuerte Sprühabscheidung
CSZ Cubic stabilized zirconia (engl.) – stabilisierte kubische Zirconiumoxidkeramik
CVD Chemical vapor deposition (engl.) – chemische Dampfabscheidung
CVSF Continuous vacuum sintering furnace (engl.) – kontinuierliches Vakuum-Sinteraggregat

DBTT Ductile – brittle – transition – temperature (engl.) – Duktil-Spröd-Umwandlungstemperatur
DCA Differential calorimetric analysis (engl.) – Differentialkalorimetrische Analyse
DEH Direct electrical heating (engl.) – direkt elektrisch beheizt
DHP Dynamic hot pressing process (engl.) – dynamisches Heißpreßverfahren
DICM Differential interference microscope (engl.) – Differential-Interferenz-Mikroskop
DPF Diesel particulate filter (engl.) – Abgasfilter der Fa. Corning
DSA Dehnungs-Schwindungs-Analyse
DSV *Debye-Scherrer*-Verfahren (thermische Röntgenographie)
DTA Differential thermal analysis (engl.) – Differentialthermoanalyse
DTD Derivative thermodilatometry (engl.) – Derivations-Thermodilatometrie
DTG Derivative thermogravimetry (engl.) – Derivations-Thermogravimetrie
DTG Differential thermogravimetry (engl.) – Differential-Thermogravimetrie

EBRD Electron beam rotating disc (engl.) – Pulverherstellung durch Elektronenstrahl auf rotierender Scheibe
ECAP Electric circuit analysis programme (engl.) – Rechnerprogramm zur Prüfung elektrischer Schaltkreise
EDA Energiedispersive Röntgenanalyse
EDAX Energy dispersive x-ray analysis (engl.) – Energiedispersive Röntgenanalyse (auch EDXA)
EDS Energy dispersive spectroscopy (engl.) – Energiedispersive Spektroskopie
EELS Electron energy loss spectrometry (engl.) – Elektronenenergieverlustspektrometrie (s. a. EEVA)
EEPROM Electrical erasable programmable read only memory (engl.) – elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher (s. a. EPROM)
EEVA Elektronenenergieverlustanalyse
EFA Elektrofilterasche
EIL Elektroiskrovoe legirovanie (russ.) – Elektrofunkenlegierung
EIR Èffektivnoe ispoĭzovanie resursov (russ.) – effektive Ausnutzung von Ressourcen
ELF Extremly low frequencies (engl.) – extrem niedrige Frequenzen
ELSAM *Ernst Leitz* Scanning Acoustic Microscope (engl.) – Ultraschallmikroskop von *Ernst Leitz*, Wetzlar, entwickelt
EMA Erhitzungsmikroskop-Analyse
EMPA Elektronenstrahlmikropunkt-Analyse (s. a. ESMA)
EMR Einchipmikrorechner
EMTA Electrophoretic mass transfer analyser (engl.) – Gerät zur Messung des elektrochemischen Zeta-Potentials
EPD Electrophoretic deposition (engl.) – elektrophoretische Abscheidung
EPMA Electron probe x-ray microanalyser (engl.) – Elektronensondenmikroanalyse (Oberflächenmeßverfahren) (s. a. AES und LEED)
EPROM erasable programmable read only memory (engl.) – löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher (s. a. EEPROM)
ESA Emission spectroscopy analysis (engl.) – Atomemissionsspektroskopie (dt: AES)
ESASC Experimental sintered alpha silicon carbides (engl.) – Versuchssinterung von α-SiC
ESB elektrostatische Sprüh- und Beschichtungsanlage
ESCA Electron spectroscopy for chemical analysis (engl.) – Elektronenspektroskopie für die chemische Analyse
ESMA Elektronenstrahl-Mikroanalyse
ESR Elektronen-Spin-Resonanzmethode (Pulveruntersuchung)
ETA Emanation thermal analysis (engl.) – Emanationsthermoanalyse
EXAFS Extended X-ray absorption fine-structure (engl.) – erweiterte Röntgenabsorptions-Feinstrukturanalyse

FACS Furnace analysis and control system (engl.) – Analyse- und Kontrollsystem des Brennprozesses
FC Fibre composites (engl.) – Faserverbundwerkstoffe (s. a. FVW)
FCGR Fatique crack growth rate (engl.) – Wachstumsrate des Ermüdungsrisses
FEA Finite element analysis (engl.) – Optimierungsmethode (s. a. FEM)
FEATS Finite element analysis for thermal stress (engl.) – Optimierungsmethode für thermische Belastung
FEM Finite element method (engl.) – Optimierungsmethode der »Finiten Elemente«
FEM Feldelektronenmikroskopie
FEP Farbeindringprüfung
FFK Flüssigkeits-Fliehkraft-Klassierer
FFS flexible Fertigungssysteme (s. a. FMS)
FGP Fare-gun process (engl.) – Detonationsspritzverfahren (s. a. REP)
FIM Feldionenmikroskopie
FMR Ferromagnetic resonance (engl.) – ferromagnetische Resonanz
FMS Flexible manufacturing system (engl.) – flexible Fertigungssysteme (s. a. FFS)
FNAA Fast neutron activation analysis (engl.) – Schnelle-Neutronen-Aktivierungs-Analyse
FORTRAN Formula Translator (engl.) – Programmmiersprache
FP Freezing point (engl.) – Erstarrungspunkt
FPS Flüssigphasensintern
FPT Fusion point (engl.) – Schmelzpunkt
FRCI Fibrous refractory composite insulation (engl.) – feuerfester Faserdämmstoff der amerikanischen Fa. Lockhead für Space Shuttle
FSEM Field-scanning-electron microscopy (engl.) – Feldrasterelektronenmikroskopie
FSZ Fully stabilised zirconia (engl.) – vollstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
FTIR Fourier-transform infrared spectroscopy (engl.) – *Fourier*-transformierte Infrarotspektroskopie
FVW Faserverbundwerkstoffe (s. a. FC)

GAST Gascooled solar tower plant (engl.) – gasgekühltes Sonnenkraftwerk nach dem Turmprinzip
GBH Gibbsite-Böhmite-Halloysite (engl.) – Gibbsit-Böhmit-Halloysit (Gruppe der Tonminerale und Aluminiumhydroxide)
GBM Grain-boundary migration (engl.) – Korngrenzenveränderung
GC Gain control (engl.) – Verstärkungsregelung
GCS Green compression strength (engl.) – Rohbruchfestigkeit
GFW grobkeramischer feuerfester Werkstoff
GGG Gadolinium-Gallium-Granat
GGP Gorâčee gazostatičeskoe pressovanie (russ.) – gasisostatisches Heißpressen (s. a. GIP u. HIP)
GGS Kornverteilung nach Gates, Gandin und Schumann (s. a. RRSB)
GIP Gorâčee izostatičeskoe pressovanie (russ.) – heißisostatisches Pressen (HIP)
GPB Gas-pressure bonding (engl.) – Verbinden von Teilen unter Gasdruck (Vorstufe des HIP)
GPS Gas-pressure sintering (engl.) – Gasdrucksintern, HIP
GRES Gosudarstvennaâ rajonnaâ elektrostanciâ (russ.) – staatliches Überlandkraftwerk
GSDF Grain size distribution function (engl.) – Korngrößenverteilungsfunktion
GSSF Gegenstrom-Schüttschicht-Filter
GSVZ Gosudarstvennaâ seť vyčisliteľnych centrov (russ.) – staatliches Netz von Rechenzentren in der SU
GTA Gravimetrische Thermoanalyse
GZK Granecentrirovannyj kubičeskij (russ.) – kubisch-flächenzentriert (s. a. CFC)
GZK Gosudarstvennyj znak Kačestva (russ.) – staatliches Gütezeichen
GZP Gorâčee gidrostatičeskoe židkostnoe pressovanie (russ.) – hydrostatisches Warmpressen mit flüssigem Preßmedium (s. a. GGP und GIP)

HA Heavy alloy (engl.) – Schwermetall-Legierung
HCP Hexagonal close-packed (engl.) – hexagonal dichteste (Kugel)-Packung
HCP Hotel china producer (engl.) – Hotelgeschirr-Hersteller
HDH Hydrid-/Dehydridverfahren (Pulverherstellung)
HDK hohe Dielektrizitätskonstante
HDUE Hochspannungs-Drehstrom-Uebertragung (s. a. HGUE)
HEED High-energy-electron diffraction

(engl.) – Hochenergie-Elektronenbeugung (s. a. LEED)
HEL High-energy laser (engl.) – Hochenergie-Laser
HEM High voltage electron microscope (engl.) – (s. a. HVEM) Hochspannungs-Elektronenmikroskop
HEP Heißes Explosiv-Pressen
HEV Hochenergieverformung
HGB Hochgeschwindigkeitsbrenner
HGMS High-gradient magnetic seperator (engl.) – Hochgradientenmagnetseparation
HGT höchstzulässige Garbrandtemperatur
HGTP Hüftgelenk-Totalprothese in Verbundbauweise (Kunststoffpfanne, Keramikkopf, Metallschaft)
HGUE Hochspannungs-Gleichstrom-Uebertragung (s. a. HDUE)
HGV Hochgeschwindigkeitsverformung
HIF Hot isostatic forging (engl.) – heißisostatische Schmiedetechnik
HIP Hot isostatic pressing (engl.) – heißisostatisches Pressen
HIPIC Hot isostatic pressing impregnate with carbon (engl.) – heißisostatisches Pressen mit Kohlenstoffimprägnierung
HIPRBSN Hot isostatic pressing reaction bonded silicon nitride (engl.) – heißisostatisch gepreßte reaktionsgebundene Siliciumnitridkeramik
HIPSiC Hot isostatic pressing silicon carbide (engl.) – heißisostatisch gepreßte Siliciumcarbidkeramik
HIPSSN Hot isostatic pressing presintered silicon nitride (engl.) – heißisostatisch gepreßtes vorgesintertes Siliciumnitrid
HLW High level nuclear waste (engl.) – hochaktiver Kernbrennstoff-Abfall
HPA Hot pressed alumina (engl.) – heißgepreßte Aluminiumoxidkeramik
HPA High pur alumina hydroxide (engl.) – hochreines Aluminiumhydroxid
HPBC Hot pressed boron carbide (engl.) – heißgepreßte Borcarbidkeramik
HPLTT High pressure low temperature technique (engl.) – Hochdruck-Tieftemperatur-Technik
HPM Homogenous precipitation method (engl.) – Homogenisierungs-Fällungs-Methode
HPM Horizontal-Prallmühle
HPS High pressure sintering (engl.) – Hochdrucksintern
HPSL High pressure sodium lamp (engl.) – Natriumhochdrucklampe
HPSN Hot pressed silicon nitride (engl.) – heißgepreßte Siliciumnitridkeramik
HR Highly resistive (engl.) – hochohmig
HRSI High temperature reusable surface insulating tiles (engl.) – wiederverwendbare Oberflächenisolierung für hohe Temperaturen (z. B. Space Shuttle) (s. a. LRSI)
HRT Horizontally fired radiant tube furnace (engl.) – horizontal gesteuerter Strahlen-Rohrofen
HRTEM High resolution transmission electron microscope (engl.) – hochauflösendes Transmissions-Elektronenmikroskop
HSS Hypersonic spray system (engl.) – thermisches Spritzverfahren
HTH High temperature hydrolysis (engl.) – Hochtemperaturhydrolyse
HTHVO Hochtemperatur-Hochvakuumofen
HTK Hochtemperaturkeramik
HTM Hochtemperaturmikroskopie
HTT High temperature treatment (engl.) – Hochtemperaturbehandlung
HVEM High voltage electron microscopy (engl.) – Hochspannungselektronenmikroskopie (s. a. HEM)

IC Integrated circuit (engl.) – integrierter Schaltkreis
ICP Inductively coupled plasma (engl.) – Verfahren zur Feinstpulvergewinnung mittels Plasmastrahls
IIMF Inclusion induced micro fracture (engl.) – durch Einschlüsse induzierte Mikrorisse (Zähigkeitserhöhung)
ITE Irreversible thermal expansion (engl.) – nichtumkehrbare Wärmeausdehnung

JIS Japanese industrial standard (engl.) – japanische Industrie-Gütevorschrift

KERALOX keramische Aluminiumoxidverkleidung
KERALUM keramische lumineszierende Farben und Glasuren (Warenzeichen für leuchtende Dekormittel)
KIP Kaltisostatisches Pressen (s. a. CIP)
KLZ keramisch hergestellter Lehmzuschlag
KM Kompozicionnye materialy (russ.) – Verbundwerkstoffe
KRZ kontinuierliches Rotationszerstäubungsverfahren (Pulverherstellung)
KSPEP Kompleksnaâ sistema povyšeniâ effektivnosti proišvodstva (russ.) – komplexes System zur Erhöhung der Produktionseffektivität (s. a. KSUKP)

KSTM Kompozicionnye sverchtverdye materialy (russ.) – superharte Verbundwerkstoffe
KSUKP Kompleksnaâ sistema upravlenâ kačestvom produkcii (russ.) – komplexes Steuersystem der Fertigungsqualität
KTO Kurztunnelofen

LAS Lithia-alumina-silicate (engl.) – Lithiumoxid-Aluminiumoxid-Silicatwerkstoff (Glaskeramik)
LCCC Leadless ceramic chip carriers (engl.) – stiftlose Keramik-Ship-Träger
LCD Liquid crystal display (engl.) – Flüssigkristallanzeige
LEBM linearelastische Bruchmechanik (engl. LEFM)
LED Light emitting diodes (engl.) – lichtemittierende Diode
LEED Low energy electron diffraction (engl.) – Niedrigenergie-Elektronenbeugung (s. a. HEED)
LEFM Linear elastic fracture mechanics (engl.) – linearelastische Bruchmechanik (s. a. LEBM)
LFK Luft-Fliehkraft-Klassierer
LMA Laser-Mikroanalyse
LOI Loss on ignition (engl.) – Glühverlust
LPCVD Low pressure chemical vapor deposition (engl.) – chemische Dampfabscheidung bei niedrigem Druck
LPE Liguid phase epitaxy (engl.) – Flüssigphasenepitaxie
LPG Liguid petroleum gas (engl.) – Flüssiggas
LPS Low pressure sintering (engl.) – Niederdrucksintern
LRSI Low temperature reusable surface insulation (engl.) – wiederverwendbare Oberflächenisolierung für niedrige Temperaturen (Space Chuttle) (s. a. HRSI)
LSI Large scale integration (engl.) – hohe Integration in der Mikroelektronik (1 024...262 144 Komponenten/BE) (s. a. VLSI)
LUCALOX Translucent aluminium oxid ceramic (engl.) – transparente Al_2O_3-Keramik (Firmenname)

MAS Magnesia alumina silicate (engl.) – MgO-Al_2O_3-Silicatwerkstoffe
MBC Miniature beryllia circuits (engl.) – miniaturisierte BeO-Schaltkreise
MCVD Modified chemical vapor deposision (engl.) – modifizierte chemische Dampfabscheidung
Mg-CSZ Magnesia cubic stabilized zirconia (engl.) – mit MgO stabilisierte kubische Zirconiumoxidkeramik
MGC Machinable glassceramic (engl.) – maschinell bearbeitbare Glaskeramik
MKV Mahlkörperverschleiß
MKZ Mnogoslojnye kompozity (russ.) – Mehrlagenwerkstoffe
MLC Multilayer composition (engl.) – Mehrlagenwerkstoffe
MLC Multilayer ceramic capacitor (engl.) – keramischer Mehrlagenkondensator
MLCC Ceramic multilayer chip capacitor (engl.) – keramischer Mehrlagen-Chip-Kondensator
MOR Modulus of rupture (engl.) – Bruchmodul
MOSFET Metall-Oxid-Silicium-Feldeffekttransistor
MPM Mischen – Pelletieren – Mahlen – Zerkleinerungsverfahren

NDT Nondestructive testing (engl.) – zerstörungsfreie Prüfung (s. a. ZFP)
NLEBM nichtlinear-elastische Bruchmechanik
NMR Nuclear magnetic resonance (engl.) – magnetische Kernresonanz
NNS Near net shape (engl.) – endformnahes Heißpressen (minimale Nacharbeit)
NOSC Non-oxide siliconbased ceramics (engl.) – nichtoxidische auf Silicium basierende keramische Werkstoffe (z. B. SiC, Si_2B_3, Si_3N_4 ...)
NTK Neue Technische Keramik (Borid-, Carbid-, Nitrid-, Oxidkeramik u. a.)
NTS Niedertemperatursynthese (Pulverherstellungsverfahren)

ONV Oxid-Nitridierungsverfahren (Pulverherstellungsverfahren)
OSEE Opticully stimulated exoelectron emission (engl.) – photostimulierte exoelektronische Emission (Pulveruntersuchungsverfahren)
OSH Oktaederschubspannungshypothese (Festigkeitshypothese)
OVCC Open-via-chip carrier (engl.) – Keramikgehäuse mit Anschlußdoppelreihe und Durchgangsbohrungen

PACVD Plasma assisted chemical vapor deposition (engl.) – plasmaunterstütztes CVD-Beschichten
PAM Polyacrylamid (Bindemittel)

PAS photoakustische Spektroskopie
PAS Positron annihilation spectroscopy (engl.) – Positronenannihilationsspektroskopie
PAS Pressure assisted sintering (engl.) – Drucksintern
PAVD Plasma activated vapor deposition (engl.) – durch Plasma aktivierte Dampfabscheidung
PBMA Polybutylmethacrylat
PBN Pyrolytic boron nitride (engl.) – pyrolytisches Bornitrid
PCS Plasma chemical synthesis (engl.) – plasmachemische Synthese (Pulverherstellungsverfahren)
PDZ Partially destabilised zirconia (engl.) – teilweise unstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
PEG Polyethylenglykol (Bindemittel)
PES Photoelektronenspektroskopie
PFM Porcelain fused to metal (engl.) – metallkeramischer Verbundwerkstoff
PGA Pin grid array (engl.) – Stift-Matrix-Gehäuse
PHEEM Photoelektronenemissionsmikroskopie
PI Plasticity index (engl.) – Plastizitätsindex
PIF Part of intercrystalline fracture (engl.) – interkristalliner Bruchanteil
PIXE Proton induced X-ray emission (engl.) – protoneninduzierte Röntgenemission
PIXE Particle induced X-ray emission (engl.) – teilcheninduzierte Röntgenemission
PKB polykristallines kubisches Bornitrid
PKD polykristalliner Diamant
PLZT Blei (Pb)-Lanthan-Zirconat/Titanat (ferroelektrischer Werkstoff)
PMN Perovskite lead magnesium niobate (Perowskit-Blei-Magnesium-Niobat)
PPK porenfreie piezoelektrische Keramik
ppm Parts per million (engl.) – 1 Millionstel (10^{-6})
PREP Plasma rotating electrode process (engl.) – Pulverherstellung durch Plasmastrahl auf rotierende Elektrode
PROM Programmable read only memory (engl.) – programmierbarer Nur-Lese-Speicher
PRP Press ready powder (engl.) – preßfertiges Granulat
PSD Particle size distribution (engl.) – Korngrößenverteilung
PSM Poristye setčatye metally (russ.) – poröse netzförmige Metalle
PSZ Partially stabilized zirconia (engl.) – teilstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
PTC Positive temperatur coefficient (engl.) – Titanatkeramik mit positivem Temperatur-Koeffizient
PTCR Positive temperature coefficient of resistivity (engl.) – positiver Temperatur-Koeffizient des Widerstandes
PU-ESTA pulverelektrostatischer Emailauftrag
PVB Polyvinylbuteral
PVC Polyvinylchlorid
PVD Physical vapor deposition (engl.) – physikalische Dampfabscheidung
PVD Plasmaed vapor deposition (engl.) – plasmagestützte Dampfabscheidung
PZN Plumbum zinc niobate (engl.) – Blei-Zink-Niobat

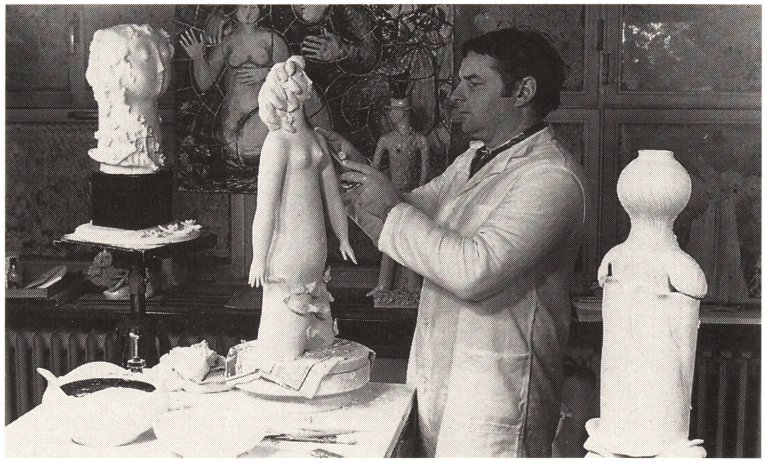
RAM Random acces memory (engl.) – Schreib-Lese-Speicher
RAPS Röntgenaustritts-Potentialspektroskopie
RBS *Rutherford* back-scattering spectrometry (engl.) – *Rutherford*sche Rückstreuungs-Spektrometrie
RBSiC Reaction bonded silicon carbide (engl.) – reaktionsgebundene Siliciumcarbidkeramik
RBSN Reaction bonded silicon nitride (engl.) – reaktionsgebundene Siliciumnitridkeramik
RBZ Ringbiegezugfestigkeit
RCB Regenerative ceramic burner (engl.) – keramischer Regenerativbrenner
RCE Rate-controlled extraction (engl.) – Ausheizen eines Bindemittels mit gesteuerter Rate
REM Rare earth metal (engl.) – Seltenerdmetall
REM Rasterelektronenmikroskopie (s. SEM)
REP Repetitive explosion process (engl.) – Detonationsspritzverfahren (s. a. FGP)
REP Rotating electrode process (engl.) – Pulverherstellung durch Lichtbogen auf drehender Elektrode
ReSiC rekristallisierte Siliciumcarbidkeramik
RFA Röntgenfluoreszenzanalyse
RHS Rechteck-Hysterese-Schleife
RMA Röntgenmikroanalyse
ROC Rapid omnidirectional compaction (engl.) – schnelle allseitige Verdichtung
RRSB Kornverteilung nach *Rosin-Rammler-Sperling-Bennett*
RSP Rapid solidification process (engl.) – Schnellverfestigungsverfahren (s. a. RSR)

RSR Rapid solidification rate (engl.) – extrem hohe Abkühlrate, Schnellverfestigungstechnologie zur Herstellung amorpher Metalle und Feinstpulver
RST Rapid solidification technology (engl.) – Schnellverfestigungstechnologie
RSV Reibung-Schmierung-Verschleißverhalten
RTM Rastertunnelmikroskop (s. a. STM)

SAES Scanning *Auger* electron spectroscopy (engl.) – *Auger*-Rasterelektronenspektroskopie (s. a. AES)
SAM Scanning *Auger* microscopy (engl.) – *Auger*-Rastermikroskopie
SAP Sintered aluminium powder (engl.) – gesintertes Aluminiumpulver
SAW Surface acoustic wafe (engl.) – Oberflächenwelle
SANS Small-angle neutron scattering (engl.) – Kleinwinkel-Neutronenstreuung
SASC Sintered alpha silicon carbide (engl.) – gesintertes α-Siliciumcarbid
SAXS Small-angle X-ray scattering (engl.) – Kleinwinkel-Röntgenstreuung
SBSN Self bonded silicon nitride (engl.) – selbstgebundenes Siliciumnitrid
SCG Subcritical crack growth (engl.) – subkritisches Rißwachstum
SEA Schallemissionsanalyse
SEM Scanning electron microscopy (engl.) – Rasterelektronenmikroskopie
SFW Senkrechtfallwerk zur Ermittlung der Kerbschlagbiegefestigkeit
SHIP Sintering and hot isostatic pressing (engl.) – Sintern und Heißpressen in einem Verfahrensschritt (»Sinterhippen«)
SHS Self-propagating high temperature synthesis (engl.) – selbstausbreitende Hochtemperatur-Synthese (s. a. SVS)
SIALON Silicium-Aluminium-Oxinitrid
SIALYON Silicium-Aluminium-Yttrium-Oxinitrid
SIMS Secundary ion mass spectroscopy (engl.) – Sekundärionen-Massenspektroskopie
SIPT Stress induced phase transformation (engl.) – spannungsinduzierte Phasenumwandlung (z. B. bei PSZ)
SiSiC mit Silicium infiltrierte, reaktionsgebundene Siliciumcarbidkeramik
SLAM Scanning laser acoustic microscopy (engl.) – Ultraschall-Laser-Mikroskopie
SLAM Single layer alumina metallized (engl.) – metallisiertes Aluminiumoxidkeramik-Einlagengehäuse
SLAM Several layer metallization (engl.) – metallisiertes keramisches Mehrlagengehäuse
SMD Surface mounted devices (engl.) – oberflächenmontierbare Bauelemente
SMT Surface mounted technology (engl.) – Oberflächenmontagetechnik
SOS Silicon on Saphir (engl.) – Schichttechnik bei der Herstellung elektronischer BE (Siliciumschicht auf Saphirsubstrat)
SPRK Spannungsrißkorrosion
SSI Small scale integration (engl.) – geringe Integration (etwa 10 Komponenten/BE)
SSIC Sintered silicon carbide (engl.) – »Selbst«-gesinterte Siliciumcarbidkeramik
SSM Scheibenschwingmühle
SSN Sintered silicon nitride (engl.) – gesintertes Siliciumnitrid
SSZ Scandia-stabilized zirconia (engl.) – scandiumoxidstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
STA Simultan-Thermoanalyse (TGA/DTA/DTG)
STEM Scanning transmission electronmicroscopy (engl.) – Rastertransmissionselektronenmikroskopie
STM Scanning tunneling microscopy (engl.) – mikroskopisches Verfahren mit dreidimensionaler Abbildung (s. a. RTM)
STP Standart predpriâtiâ (russ.) – Werkstandard
SVS Samorasprostranâûščisâ vysokotemperaturnyj sintez (russ.) – selbstausbreitende Hochtemperatursynthese (s. a. SHS)

TCM Thermal conduction module (engl.) – keramisches Mehrschichtgehäuse
TE Thermal expansion (engl.) – Wärmeausdehnung
TEA Thermal expansion anisotropy (engl.) – Wärmeausdehnungsanisotropie
TEM Transmission electron microscopy (engl.) – Transmissionselektronenmikroskopie
TGA Thermogravimetric analysis (engl.) – thermogravimetrische Analyse
TIG *Tungsten* inert Gasschweißen (Wolfram-Inertgas zum Zuschweißen der

	Metallhüllen vor dem isostatischen Heißpressen u. a.)
TTZ	tetragonale teilstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
TZP	Tetragonal zirconia polycrystals (engl.) – tetragonale polykristalline Zirkonoxidkeramik
UCHAKS	Upročneniâ chimičeskim aktivirovaniem kontaktnych svjazei (russ.) – Verfestigung von Kontaktverbindungen durch chemische Aktivierung
UDM	Ultradispersnye materialy (russ.) – ultradisperse Werkstoffe
UDP	Ultradispersnye poroškiv (russ.) – ultradisperse Pulver
UFP	Ultrafine powder (engl.) – ultrafeine Pulver
URST	Ultra rapid solidification technology (engl.) – ultraschnelle Verfestigungstechnologie (s. a. RST)
USGA	Ultrasonic gas atomization (engl.) – Ultraschall-Feinstzerstäubung, Verfahren zur Metallpulverherstellung
VC	Vitreous china (engl.) – Halbporzellan für Sanitärware und Haushaltgeschirr
VKB	Vitrokeramik, maschinell bearbeitbar
VLS	Vapor-liquid-solide (engl.) – dampfförmig – flüssig – fest, Whisker-Bildungsprozeß
VLSI	Very large scale integration (engl.) – sehr hoher Integrationsgrad, bis zu 10^6 elektrische Funktionen auf 25 mm^2
VMH	*Vickers* microhardness (engl.) – Mikrohärte nach *Vickers*
VPE	Vapor phase epitaxy (engl.) – Dampfphasenepitaxie
VSZ	vollstabilisierte Zirconiumoxidkeramik
WLF	Wärmeleitfähigkeit
WOF	Work of fracture (engl.) – Brucharbeit
WOF	Work of friction (engl.) – Reibungsarbeit
WTK	Widerstandstragkörper
XEDS	X-ray energy dispersive spectroscopy (engl.) – Röntgenstrahl-Energiedispersspektroskopie
XMA	X-ray micro analysis (engl.) – Röntgenmikroanalyse
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy (engl.) – fotoelektrische Röntgenspektroskopie
XRD	X-ray diffraction (engl.) – Röntgendiffraktion
Y-TZP	Yttria tetragonal zirconia polycrystals (engl.) – yttriumdotierte, tetragonale polykristalline Zirconiumoxidkeramik
YAG	Yttrium aluminium garnet (engl.) – Yttrium-Aluminium-Granat
YAP	Yttrium-Aluminium-Perowskit-Keramik
YPSZ	Yttria partially stabilized zirconia (engl.) – durch Yttriumoxid teilstabilisierte Zirconoxidkeramik
YSZ	Yttria stabilized zirconia (engl.) – durch Yttriumoxid stabilisierte Zirconiumoxidkeramik
YTTRALOX	Yttrium translucent oxid ceramic (engl.) – transparente Yttriumoxidkeramik
ZAS	Zirconia-Alumina-Silica (engl.) – ZrO_2-Al_2O_3-SiO_2, Feuerfestwerkstoff
ZDC	Zirconia dispersed ceramics (engl.) – disperse Zirconiumoxidkeramik
ZFP	zerstörungsfreie Prüfung (s. a. NDT)
ZMD	zylindrische magnetische Domänen (engl.: cylindrical magnetic bubbles)
ZNR	Zincoxid nonlinear resistor (engl.) – nichtlinearer Zinkoxidwiderstand
ZTA	Zirconia toughened alumina (engl.) – durch Zirconiumoxidteilchen verfestigte Aluminiumoxidkeramik
ZTC	Zirconia toughened ceramics (engl.) – durch Zirconiumoxidteilchen verfestigte Keramik



Vorhergehende Seite:
Bild 1. Dose mit Deckel, Meissener Porzellanmanufaktur

Bild 2. Porzellangestalter *Peter Strang*, Meissener Porzellanmanufaktur

Bild 3. Porzellanmalerin bei der Arbeit, Meissener Porzellanmanufaktur

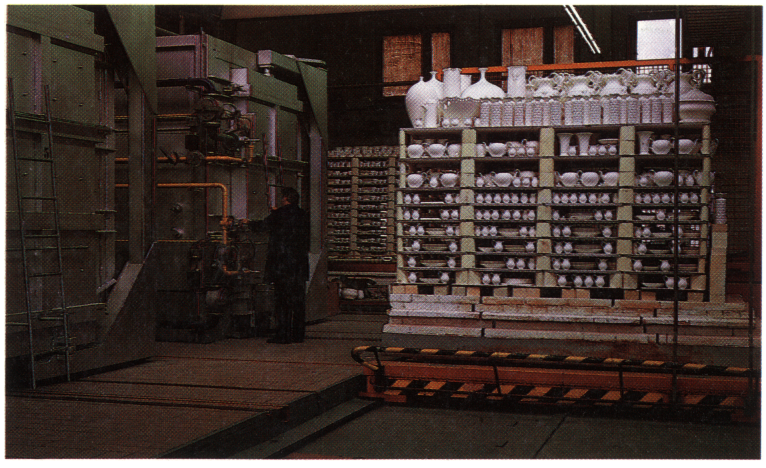


Bild 4. Brennaggregat (Herdwagen), Meissener Porzellanmanufaktur

Bild 5. Servicearrangement mit Meissener Zwiebelmuster (Unterglasurmalerei)

Bild 6. Porzellanwandbild
von *Peter Strang* und *Heinz Werner*,
Meissener Porzellanmanufaktur

Bild 7. Dose aus rotem Feinsteinzeug
(Warenkennzeichen *Böttger*-Steinzeug,
Meissener Porzellanmanufaktur)

Bild 8. Figurengruppe »Die vier Jahreszeiten«, modelliert von *Desoches* 1773, Fürstenberger Porzellanmanufaktur

Bild 9. Gitterkorb, Fürstenberger Porzellanmanufaktur

Bild 10. Steingut-Sortiment (VEB Steingutwerk Torgau)

Bild 11. Sortiment Töpferhof Römhild

Bild 12. Hüftgelenkprothese aus Keramik

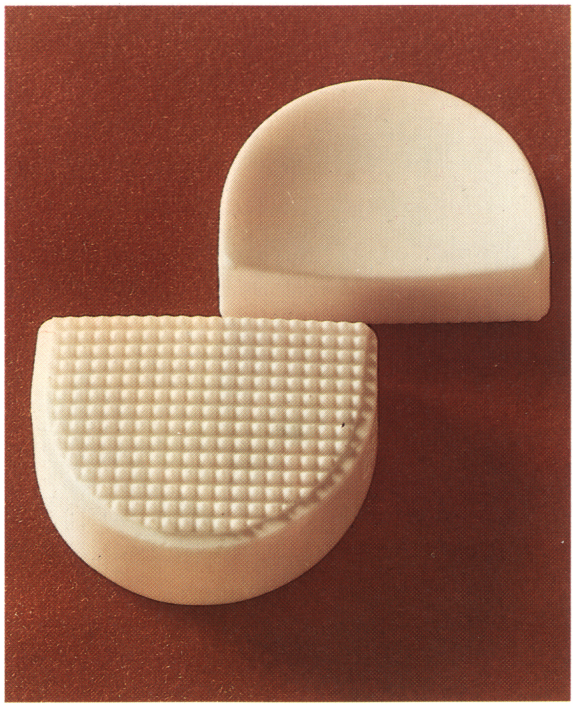


Bild 13. Kniegelenkprothese aus Keramik

Bild 14. »Die Perle« von Prof. *Paul Scheurich*, Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)

Bild 15. »Friedrich zu Pferde« von *Emanuel Bardow*, Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)

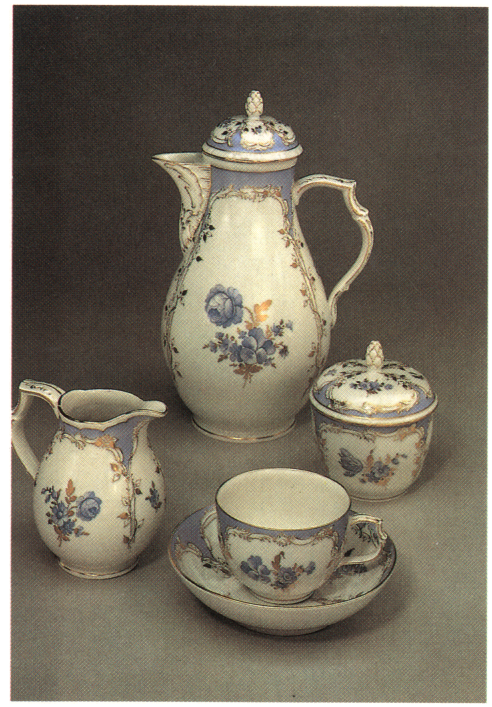


Bild 16. »Schinkelkorb« um 1820, Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)

Bild 17. Form Neuzierat 1784, Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)

Bild 18. Vase Trompetenform mit Blumenfries, um 1840, nach Entwurf von *Karl Friedrich Schinkel*, Königliche Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)

Bild 19. Servicearrangement mit Watteau-Malerei (Aufglasurmalerei, Meissener Porzellanmanufaktur)

Bild 20. Teller mit Vogelmalerei (Aufglasurmalerei, Meissener Porzellanmanufaktur)

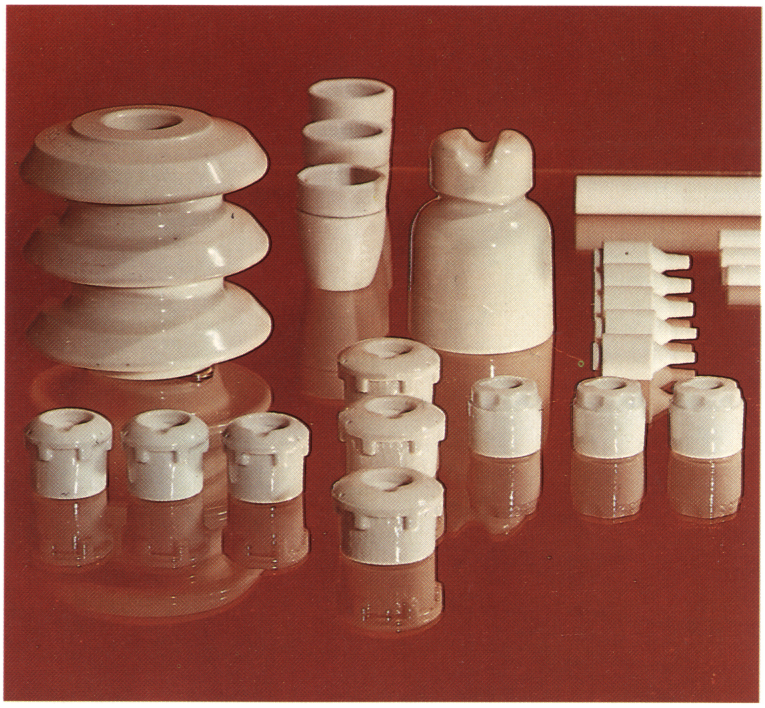


Bild 21. Erzeugnisse aus Steatit für Niederspannungstechnik

Bild 22. Korunderzeugnisse (Kawenit)

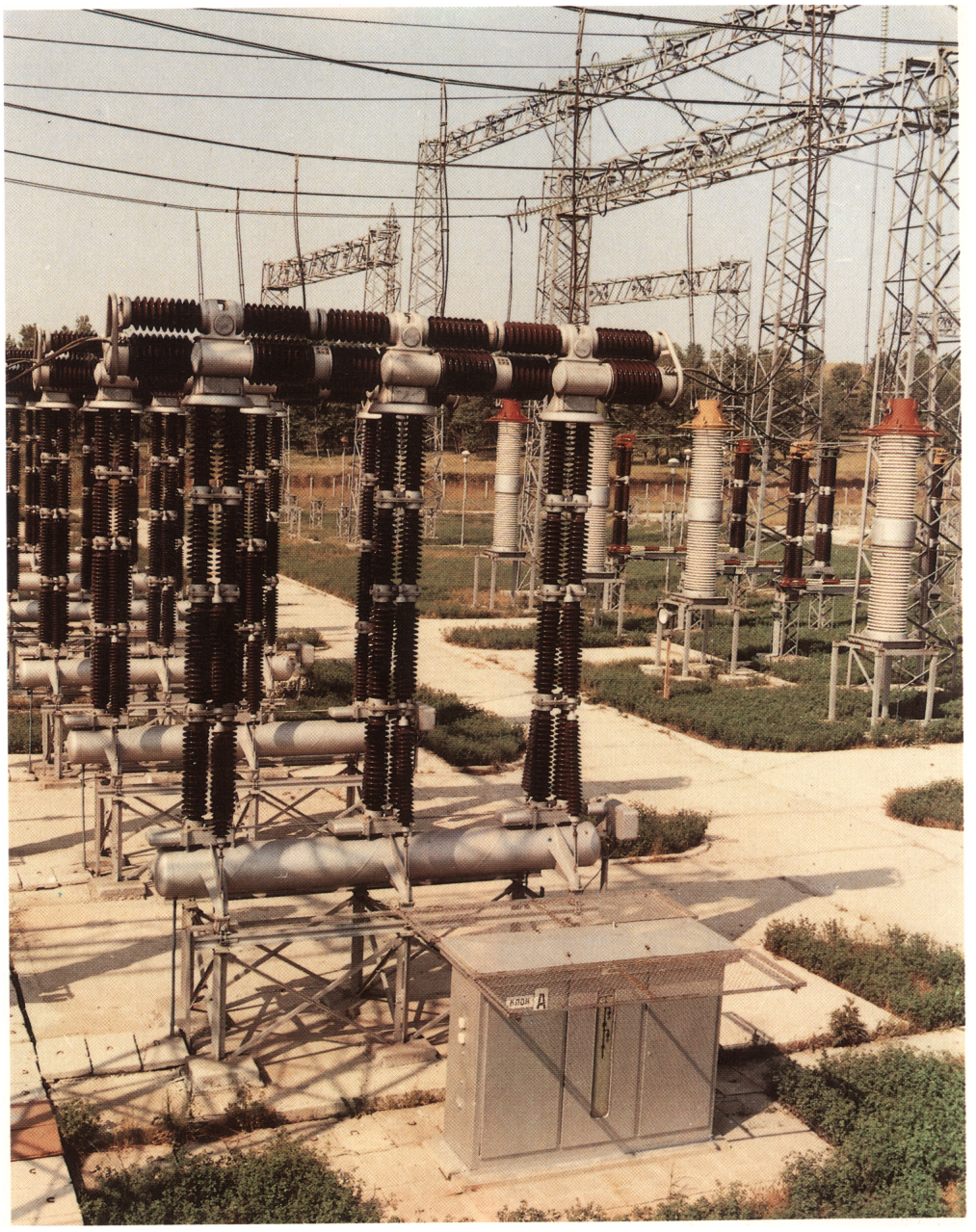


Bild 23. Hochspannungsanlagen, Bulgarien (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

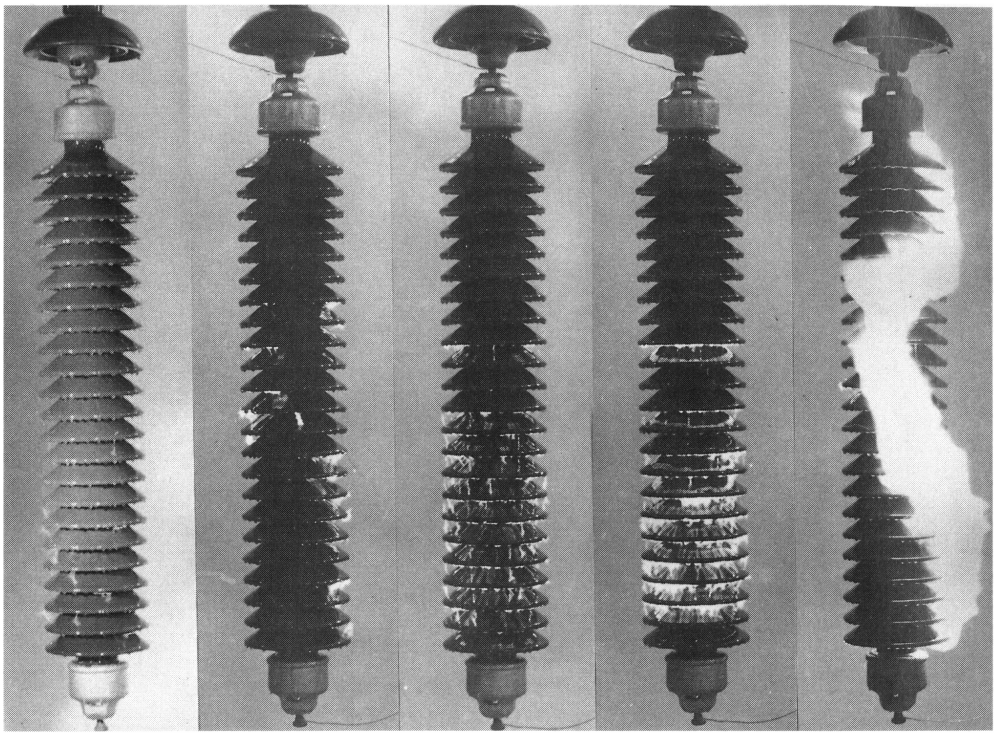


Bild 30. Vorentladungen und Überschlag an einem fremdschichtbehafteten Isolator (Typ: LS 85/23/S), VEB Keramische Werke Hermsdorf

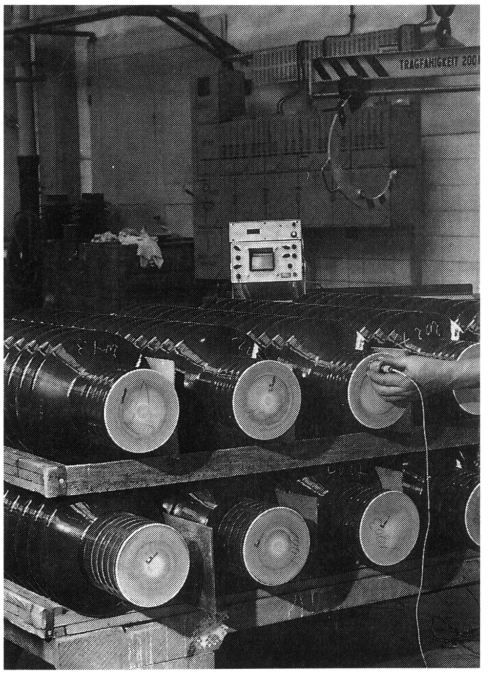


Bild 31. Ultraschallprüfung an Langstäben (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

Bilder 24 bis 29. Freidrehen

◄

Bild 24. Zentrieren
Bild 25. Aufbrechen
Bild 26. Zangengriff
Bild 27. Knöchelzug
Bild 28. Schienenzug
Bild 29. Verschwammtes Gefäß

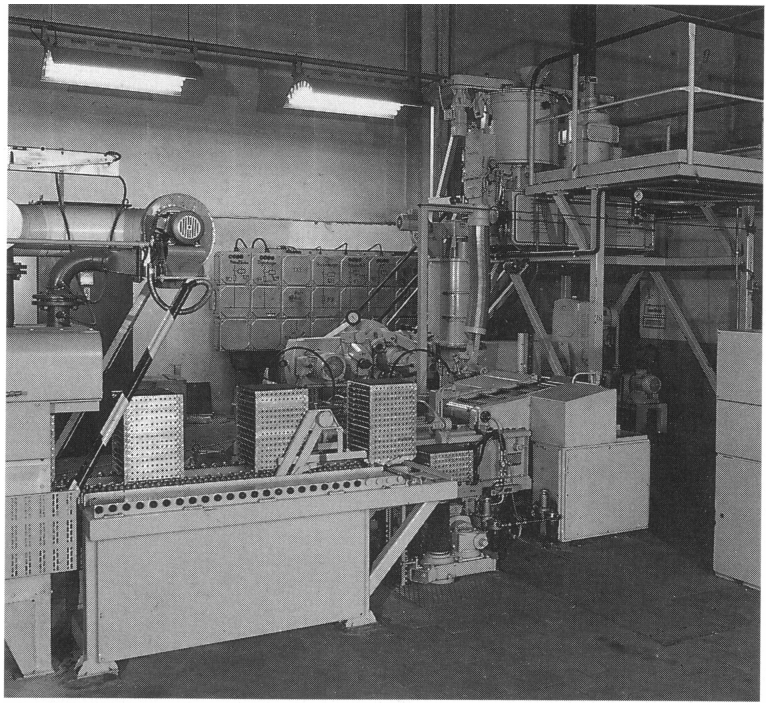
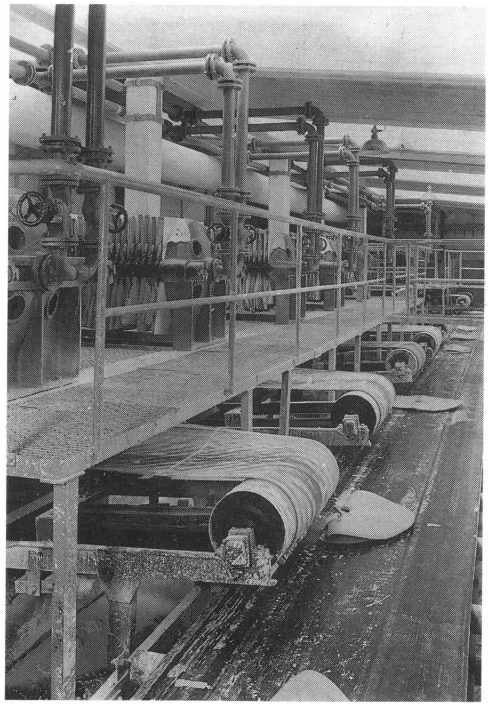
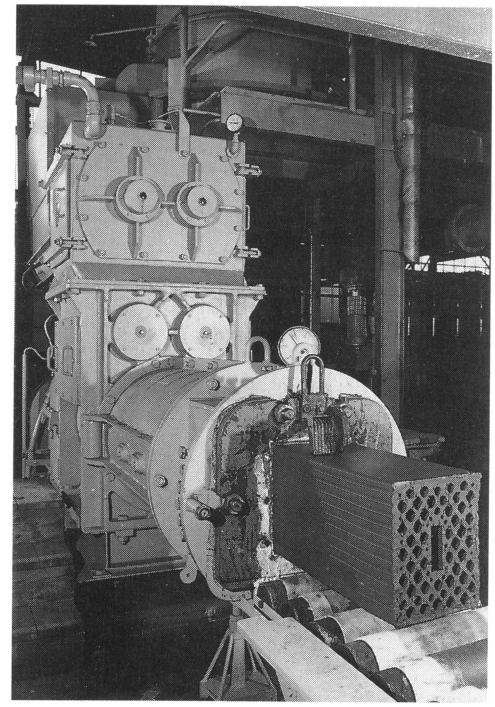
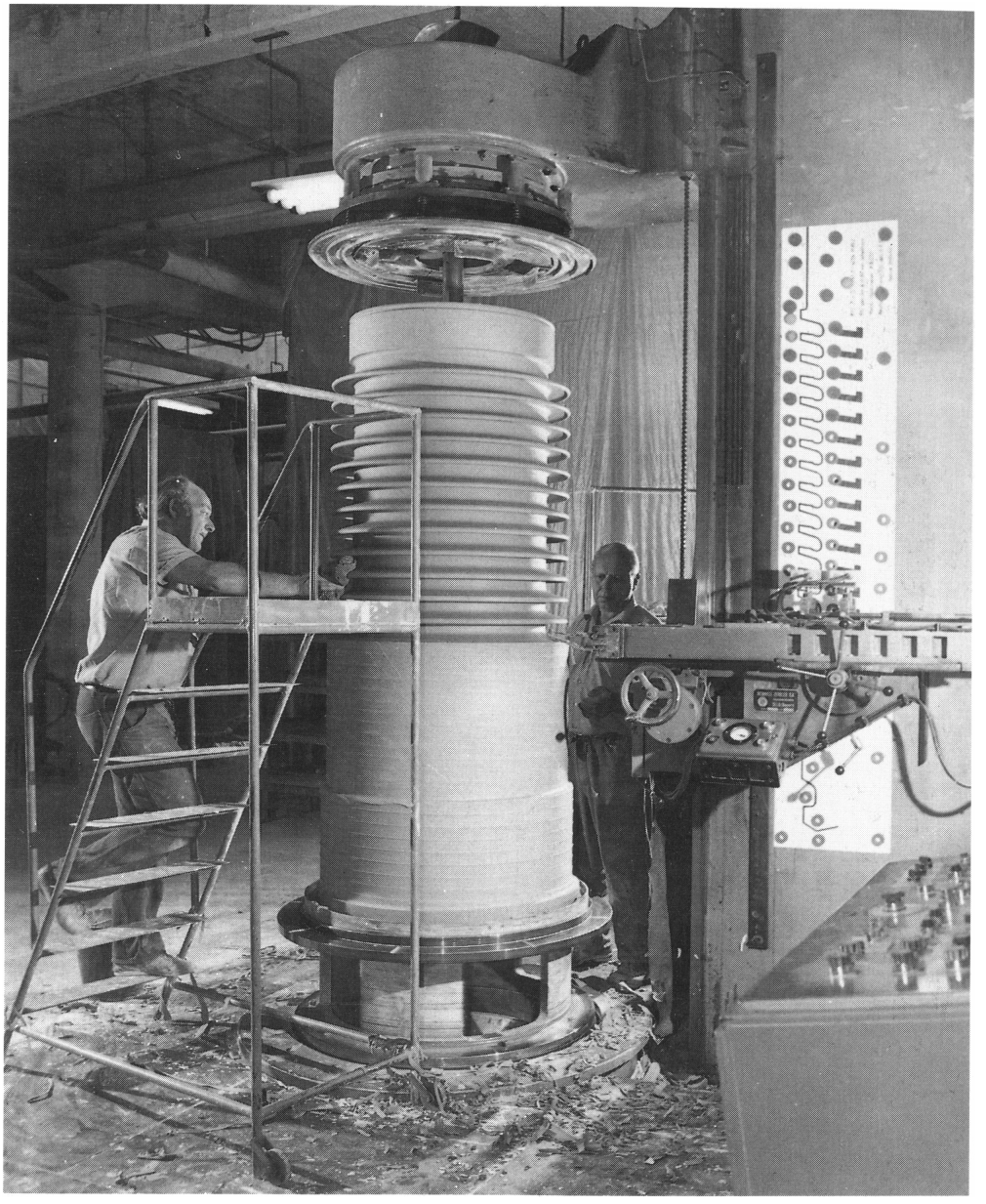


Bild 32. Automatisierte Fertigungslinie AFA (VEB Keramikmaschinen Görlitz, Aufnahme: *Geuther*, Rötha)







◀
Bild 33. Filterpressenanlage (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

◀
Bild 34. Strangpressen von Hohllochziegeln (VEB Keramikmaschinen Görlitz, Aufnahme: *Geuther*, Rötha)

Bild 35. Kopierdrehen von Großkörpern (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

Bild 36. Kurztunnelofen für Ziegelbrand bis 1 100 °C (VEB Spezialbaukombinat Magdeburg)

Bild 37. Durchlauf-Schlittenofen für den Schnellbrand von Porzellan (VEB Spezialbaukombinat Magdeburg)